

UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTÍN-TARAPOTO

FACULTAD DE ECOLOGÍA

ESCUELA ACADÉMICA PROFESIONAL DE INGENIERÍA AMBIENTAL

DEPARTAMENTO ACADÉMICO DE CIENCIAS AMBIENTALES



**DEPURACIÓN DE AGUAS SERVIDAS, UTILIZANDO ESPECIES
ACUÁTICAS, EN LA CIUDAD DE MOYOBAMBA-2011.**

TESIS

Para obtener el título de:

INGENIERO AMBIENTAL

Autoras:

MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ CHUMBE

KAREN ALICIA MARGARITA GARCÍA GARCÍA

Asesor:

Ing. JUAN JOSÉ PINEDO CANTA

Co-asesor:

Lic. MSc. FABIAN CENTURIÓN TAPIA

Ing. SAMUEL LÓPEZ CHÁVEZ

MOYOBAMBA – PERÚ

2012

Nº DE REGISTRO 06052811:



UNIVERSIDAD NACIONAL DE SAN MARTIN
FACULTAD DE ECOLOGIA
Escuela Académica Profesional de Ingeniería Ambiental

ACTA DE SUSTENTACION PARA OBTENER EL TITULO
PROFESIONAL DE INGENIERO AMBIENTAL

En la sala de conferencia de la Facultad de Ecología de la Universidad Nacional de San Martín-T sede Moyobamba y siendo las **seis de la tarde del día sábado 10 de Noviembre del Dos Mil Doce**, se reunió el Jurado de Tesis integrado por:

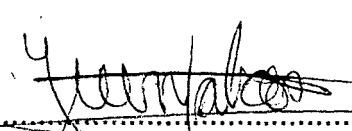
Ing. M.Sc. YRWIN FRANCISCO AZABACHE LIZA	PRESIDENTE
Ing. MARCOS AQUILES AYALA DIAZ	SECRETARIO
Ing. GERARDO CACERES BARDALES	MIEMBRO

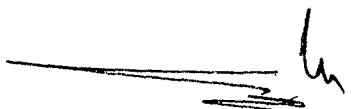
Ing. JUAN JOSE PINEDO CANTA	ASESOR
-----------------------------	--------

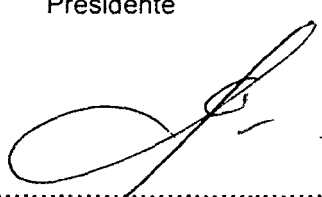
Para evaluar la Sustentación de la Tesis Titulado **"DEPURACIÓN DE AGUAS SERVIDAS, UTILIZANDO ESPECIES ACUÁTICAS EN LA CIUDAD DE MOYOBAMBA 2011"**, presentado por las Bachilleres en Ingeniería Ambiental **KAREN ALICIA MARGARITA GARCÍA GARCÍA** y **MARÍA ISABEL RODRÍGUEZ CHUMBE**; según Resolución N° 0158-2011-UNSM-T/COFE-MOY de fecha **19 de Octubre del 2011**.

Los señores miembros del Jurado, después de haber escuchado la sustentación, las respuestas a las preguntas formuladas y terminada la réplica; luego de debatir entre sí, reservada y libremente lo declaran : APROBADO por UNANIMIDAD con el calificativo de : MUY BUENO y nota DIECISEIS (16).

En fe de la cual se firma la presente acta, siendo las 19:46 horas del mismo día, con lo cual se dio por terminado el presente acto de sustentación.


Ing. YRWIN F. AZABACHE LIZA
Presidente


Ing. MARCOS A. AYALA DIAZ
Secretario


Ing. GERARDO CACERES BARDALES
Miembro


Ing. JUAN JOSÉ PINEDO CANTA
Asesor

DEDICATORIA

Dedico esta tesis,

A Dios,
por ser mi guía y ayudarme
a enfrentar las adversidades de la
vida.

A mi amada madre,
Delia Rosa Chumbe Montani, por ser mi pilar
y fuente de admiración, por ser mi amiga y creer siempre en mí,
porque apostó en todo momento que mis estudios
me conllevarían al éxito.

A la juventud,
porque somos el elixir de la vida
y la clave para la gran transformación
que necesita nuestra
Nación.

María Isabel Rodríguez Chumbe.

DEDICATORIA

A Dios,
por darme la oportunidad de vivir
y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón
e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas
que han sido mi soporte y compañía durante
todo el periodo de estudio.

A mi mamita querida Milka
por haberme apoyado en todo momento, por sus consejos,
sus valores, por la motivación constante que me ha permitido ser una persona de bien,
pero más que nada, por su amor. A mí querido papito Hugo por los ejemplos de perseverancia
y constancia que lo caracterizan y que me ha infundido siempre,
por el valor mostrado para salir adelante
y por su amor.

A mi hermanito Josué
por haber fomentado en mí el deseo de superación
y anhelo de triunfo en la vida, a Nelson por su apoyo incondicional
y su forma tan alegre de ver la vida, descubriendo
así que pase lo que pase tengo
que salir adelante.

Mil palabras no bastarían para agradecer su apoyo,
su comprensión y sus consejos en todo momento, espero no defraudarlos
y contar siempre con su valioso apoyo,
sincero e incondicional.

Karen Alicia Margarita García García.

AGRADECIMIENTO

A Juan José Pinedo Canta, nuestro profesor consejero y excelente profesional, por todo el apoyo brindado durante la realización de este estudio, por los deseos de superación inculcados durante nuestra formación profesional y por sembrar en nosotros la semillita de la investigación.

Al señor Luis Rodríguez Torres, por su apoyo incondicional durante la etapa de ejecución de la tesis y direccionamiento en la fase de construcción del sistema.

A Fabián Centurión Tapia, Co-asesor y amigo, por todas las horas dedicadas al enriquecimiento de nuestro trabajo.

A Samuel López Chávez, por toda la paciencia y ayuda prestada en los momentos cruciales de la jornada y enseñanza en el campo químico.

Agradecemos especialmente a Dios, por habernos dado la fortaleza, la salud, la tenacidad y la paciencia para alcanzar los objetivos propuestos al inicio de la investigación.

RESUMEN

El estudio “Depuración de aguas servidas, utilizando especies acuáticas, en la ciudad de Moyobamba”, surgió a raíz que en nuestra región no existen experiencias que hayan documentado el uso y aprovechamiento de macrófitas para tratamientos de efluentes domiciliarios e industriales.

La presente investigación tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en la remoción de contaminantes presentes en las aguas servidas. Para alcanzar dicha meta se diseñó un sistema de tratamiento de aguas residuales con un tiempo de retención hidráulico de 8 días, donde se aplicaron las especies mencionadas en diferentes tiempos y por separado; a esta investigación se adicionó un tercer tratamiento conformado por una asociación entre ambas especies.

Los resultados obtenidos mostraron que *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la depuración de aguas servidas, logrando remociones altas en: 85.5% en Coliformes Totales, 77.7 Nitratos, 73.5 Coliformes Termotolerantes, DBO5 66.1, Sólidos Suspendidos Totales 60%.

Pistia stratiotes mostró ser muy susceptible a factores ambientales y presencia de plagas, obteniéndose remociones, donde las remociones alcanzadas fueron: 67.1% de Fosfatos, 65.6% de Nitratos, 63.8% de DBO5, 62.8% Coliformes Totales.

Con respecto al comportamiento de la biomasa de ambas especies, se observó un mayor desarrollo radicular de la planta, donde muchas veces éste era el doble o el triple del tamaño de la biomasa aérea.

Como conclusión final se puede afirmar que el tratamiento de aguas residuales domésticas con tratamiento biológico, aunque poco difundido en nuestra región, es una buena alternativa novedosa de bajo costo y amigable con el ambiente.

ABSTRACT

The study "Wastewater purification, using aquatic species, in Moyobambacity", arose that in our region there are no experiences that have documented the use and exploitation of macrophytes on treatments for residential and industrial effluents.

The objective of this research was to evaluate the efficiency of the *Eichhornia crassipes* and *Pistia stratiotes* species in removing pollutants present in the wastewater.

To achieve that goal will design a sewage treatment system with a hydraulic retention time of 8 days, where they were introduced the species mentioned in different times and separately; this research added a third treatment consisting of a partnership between the two species.

The results obtained showed that *Eichhornia crassipes* is more efficient in wastewatertreatment, achieving high removals in: 85.5 % in total coliforms, 77.7 Nitrates, 73.5 thermotolerant coliforms, DBO_{5,20} 66.1, Total Suspended Solids 60 %.

Pistia stratiotes proved to be very susceptible to environmental factors and the presence of pests, obtaining dismissals, where removals reached were: 67.1 % phosphates, 65.6 % nitrates, 63.8 % DBO_{5,20}, 62.8 % Total Coliforms.

With respect to the biomass behavior of both species, it was observed that a greater development of the root of the plant, where many times this was the double or triple the size of the aboveground biomass.

As a final conclusion we can say that the domestic wastewater treatment with biological treatment, although not widely known in our region, is a good innovative alternative low-cost and environmentally friendly.

Key words: domestic wastewater treatment, biological treatment.



ÍNDICE

DEDICATORIA	1
AGRADECIMIENTO	3
RESUMEN	4
ABSTRACT	5
ÍNDICE	6
ÍNDICE DE CUADROS	9
ÍNDICE DE FIGURAS	11
ÍNDICE DE FOTOS	12
ÍNDICE DE GRÁFICOS	13
CAPITULO I	1
I. El problema de investigación.	1
1.1 Planteamiento del problema.	1
1.2 Objetivos.	2
1.2.1. Objetivo General.	2
1.2.2. Objetivo Especifico.	2
1.3 Fundamentación teórica.	3
1.3.1 Antecedentes de la investigación.	3
1.3.2 Bases teóricas.	8
1.3.2.1. Aguas Residuales.	8
1.3.2.2. Tratamiento de Aguas Residuales Domesticas.	11
1.3.2.3. Sistemas de Tratamiento Biológico para Aguas Residuales Domesticas.	12
1.3.2.4. Plantas Acuáticos en el Tratamiento de Aguas Residuales.	16
1.3.2.5. Mecanismos de Depuración de las Plantas Acuáticas.	17
1.3.2.6. Generalidades de las Especies.	24

1.3.2.7. Parámetros Físicos Químicos y Biológicos en Estudio.	34
1.3.3. Definición de Términos.	40
1.4. Variables.	42
1.5. Hipótesis.	42
CAPITULO II:	43
II. Marco Metodológico.	43
2.1 Tipo de investigación.	43
2.1.2. De acuerdo a la Orientación.	43
2.1.3. De acuerdo a la Técnica de Contrastación.	43
2.2 Diseño de investigación.	43
2.3 Población y Muestra.	44
2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.	44
2.4.1. Técnicas de Recolección de Datos Primaria.	44
2.4.2. Técnicas de Recolección de Datos Secundario.	52
2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.	52
CAPITULO III:	53
III. Resultados	53
3.1 Resultados de la Depuración de las Aguas Residuales.	53
3.1.1. Evaluación de la Capacidad de Depuración de (<i>Eichhornia crassipes</i>) en el Tratamiento de Aguas Servidas.	53
3.1.2. Evaluación de la Capacidad de Depuración de (<i>Pistia stratiotes</i>) en el Tratamiento de Aguas Servidas.	68
3.1.3. Analizar y comparar la Capacidad de Depuración de las especies <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i> .	82
3.1.4. Obtención de Agua Depurada con Fines para Riego de Vegetales.	84
3.1.5. Resultado del Tratamiento tres (Testigo).	84
3.2 Discusiones.	88
3.3 Conclusiones.	92
3.4. Recomendaciones.	93

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

REFERENCIAS BIBLIOGRAFICAS	94
ANEXOS	98

ÍNDICE DE CUADROS

Cuadro N°01:	Comparación porcentual de la composición química del repollito de agua (<i>Pistia stratiotes</i>) con algunos ingredientes alimenticios experimentados en la alimentación para pollos.	33
Cuadro N°02:	Tratamientos aplicados en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas.	46
Cuadro N°03:	Diseño de las evaluaciones de biomasa.	48
Cuadro N°04:	Parámetros físico, químicos y biológicos	51
Cuadro N°05:	Datos promedio de evaluaciones fisiológicas de <i>Eichhornia crassipes</i> .	53
Cuadro N°06:	Datos Promedio de Parámetros Evaluados en la I Etapa, de <i>Eichhornia crassipes</i> .	56
Cuadro N°07:	Datos Promedios de Parámetros Evaluados en la II Etapa, de <i>Eichhornia crassipes</i> .	58
Cuadro N°08:	Datos de Parámetros Evaluados en la III Etapa, de <i>Eichhornia crassipes</i> .	59
Cuadro N°09:	Promedios de evaluación fisiológica de <i>Pistia stratiotes</i> .	68
Cuadro N°010:	Datos de Parámetros Evaluados en la I Etapa, de <i>Pistia stratiotes</i> .	70

Cuadro N°011: Datos de Parámetros Evaluados en la II Etapa, <i>Pistia stratiotes</i> .	72
Cuadro N°012: Datos de Parámetros Evaluados en la III Etapa, <i>Pistia stratiotes</i> .	73
Cuadro N°013: Porcentajes de Remoción de los Tres Tratamientos.	82
Cuadro N°014: Datos de Parámetros Evaluados en la I Y II Etapa del Testigo.	86

ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. N°01:	Sistema de agua superficial libre (SASL).	14
Fig. N°02:	Sistemas de flujo bajo la superficie en forma horizontal (SFBS).	15
Fig. N°03:	Diagrama del metabolismo del nitrógeno.	20
Fig. N°04:	Morfología de <i>Eichhornia crassipes</i> .	27
Fig. N°05:	Morfología de <i>Pistia stratiotes</i> .	32
Fig. N°06:	Diseño de Investigación (Descriptiva).	43
Fig. N°07:	Esquema de los cuatro puntos de muestreo a 8 días del TRH, para <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i> .	50
Fig. N°08:	Esquema de los dos puntos de muestreo a cada 40 y 30 días de crecimiento para <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i> .	50

ÍNDICE DE FOTOS

Foto N°01: Recolección de especie *Eichhornia crassipes*.

Foto N°02: Excavación de estanques para el sistema de tratamiento de aguas residuales.

Foto N°03: Recubrimiento de estanques con material plástico.

Foto N°04: Limpieza y desinfección de las especies.

Foto N°05: Siembra de *Eichhornia crassipes*.

Foto N°06: Evaluación de biomasa de *Eichhornia crassipes*.

Foto N°07: Mantenimiento de estanques y biomasa de *Eichhornia crassipes*.

Foto N°08: Siembra de *Pistia stratiotes*.

Foto N°09: Evaluación de biomasa de *Pistia stratiotes*.

Foto N°010: Recolección de muestra de agua.

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Gráfico N°01:	Datos de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	60
Gráfico N°02:	Datos de Temperatura, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	61
Gráfico N°03:	Datos de pH, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	62
Gráfico N°04:	Datos de Conductividad Eléctrica, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	63
Gráfico N°05:	Datos de Sólidos Suspendidos Totales y Calcio, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	64
Gráfico N°06:	Datos de Cloruros y Sulfatos, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	65
Gráfico N°07:	Datos de Nitratos y Fosfatos, con <i>Eichhornia crassipes</i> .	66
Gráfico N°08:	Datos de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno.	67
Gráfico N°09:	Datos de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes, con <i>Pistia stratiotes</i> .	74
Gráfico N°010:	Datos de pH, con <i>Pistia stratiotes</i> .	75
Gráfico N°011:	Datos de Temperatura, con <i>Pistia stratiotes</i> .	76
Gráfico N°012:	Datos de Conductividad Eléctrica, con <i>Pistia stratiotes</i> .	77

Gráfico N°013: Datos de Sólidos Suspendidos Totales y Calcio.	78
Gráfico N°014: Datos de Cloruros y Sulfatos.	79
Gráfico N°015: Datos de Nitratos Y fosfatos.	80
Gráfico N°016: Datos de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno.	81

CAPÍTULO I

EL PROBLEMA DE LA INVESTIGACIÓN

1.1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

En los últimos años, se ha incrementado la contaminación de los cuerpos de agua, debido al manejo inadecuado de las aguas residuales de origen doméstico e industrial. Sin embargo con el crecimiento poblacional y la demanda diaria de éste recurso, su contaminación se ha incrementado de forma acelerada y su calidad ha disminuido a tal límite, que cada vez para más personas se vuelve difícil el acceso a éste recurso en grandes cantidades y en buenas condiciones para el consumo humano.

En el país, sólo se realiza el tratamiento del 29,1% de las aguas residuales domésticas urbanas, el resto se vierte a los mares, lagos y ríos provocando un impacto negativo en el medio ambiente y en la salud de las personas.

Ante esta situación el reuso de aguas residuales tratadas con métodos naturales como la fitorremediación representan una opción interesante, cuyo desarrolló, diseño, operación y mantenimiento son comparativamente económicos y ecológicos frente a los sistemas convencionales. La existencia de plantas acuáticas flotantes como *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en nuestra región representan un potencial que debe ser aprovechado por su alto poder de remoción de contaminantes presentes en el agua.

Este trabajo surgió de la necesidad que el recurso agua amerita, siendo las aguas del Río Mayo quienes atraviesan por un serio problema, que es el vertido de las aguas residuales domésticas generadas por la comunidad.

Estas consideraciones nos permiten plantearnos la siguiente interrogante:

¿Qué especie acuática es más eficiente en la depuración de las aguas servidas, en la ciudad de Moyobamba-2011?

1.2 OBJETIVOS

1.2.1 Objetivo General:

- ✓ Evaluar la eficiencia de las especies *Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*, en el tratamiento biológico de las aguas servidas, en la ciudad de Moyobamba.

1.2.2 Objetivos Específicos:

- ✓ Evaluar la capacidad de depuración de *Eichhornia crassipes*, en el tratamiento de las aguas servidas.
- ✓ Evaluar la capacidad de depuración de *Pistia stratiotes*, en el tratamiento de las aguas servidas.
- ✓ Analizar y comparar la capacidad de depuración de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.
- ✓ Obtener agua depurada con fines para riego de vegetales.

1.3 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

1.3.1 Antecedentes de la Investigación.

1.3.1.1 A Nivel Internacional.

- Carranza y Luna (2006). Realizaron un estudio a nivel experimental sobre el “Tratamiento de aguas residuales Municipales empleando plantas acuáticas flotantes (*Pistia stratiotes*)”. El mencionado estudio tuvo como objetivo evaluar la eficiencia de remoción de contaminantes de la especie *Pistia stratiotes* utilizando agua residual cruda de las instalaciones de la ciudad universitaria UNAM y agua residual tratada previamente en un sistema de lodos activados (parcialmente tratada).

Los investigadores arribaron a los siguientes resultados y conclusiones:

Experimento I: Agua residual cruda) Después de 12 días de tratamiento, se removió 72% de DQO, 63% de SST, 48% de P-PO₄ y 62% de NT. Los blancos sin planta presentaron remociones del 21%, 43%, 28% y 19%, para DQO, SST, PPO₄ y NT respectivamente.

Experimento II: Agua residual tratada). Las remociones logradas fueron de 40% como DQO, 17% como SST, 13% como P-PO₄ y 72% como NT después de 12 días, los blancos correspondientes sin planta tuvieron remociones de, 17%, 12%, 14% y 21% como DQO, SST, P-PO₄ y NT respectivamente.

El crecimiento en biomasa vegetal fue ligeramente mayor en las plantas que se encontraban en agua parcialmente tratada, logrando un 16,63% de peso, respecto al 16,2% que presentaron las que se encontraban en agua residual cruda.

Los resultados indican que la máxima productividad primaria se alcanza a los 12 días, pudiendo cosechar el 16% del peso inicial de

las plantas sin detrimento de la calidad operativa del sistema. Se necesitan aproximadamente 10 plantas (100g peso húmedo) por persona equivalente (150 l/hab/día) para obtener calidad de agua para riego agrícola a partir de aguas residuales municipales crudas y parcialmente tratadas. La calidad nutritiva de la planta cosechada es comparable con la del tomate y la calabaza por lo que es susceptible a ser empleada como forraje.

- León y Lucero (2009). Realizaron el estudio sobre “*Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de aguas residuales domésticas en sistemas comunitarios y unifamiliares del Canton-Cotacachi”, dicha investigación tuvo como objetivo determinar la eficiencia de *Eichhornia crassipes*, *Lemna gibba* y *Azolla filiculoides* en el tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas.

Las investigadoras arribaron a las siguientes conclusiones:

Del análisis de la calidad de las aguas tratadas en sistemas unifamiliares y comunitarios se determinó que, la mayoría de parámetros se enmarcan dentro de los límites permisibles de la norma TULAS de Ecuador, existiendo incrementos de los parámetros nitrogenados excepto los nitratos; los que aumentaron especialmente con *Lemna gibba* y lograron ser removidos con *Eichhornia crassipes*. En cuanto a los parámetros microbiológicos no se lograron niveles de aceptabilidad con ningún tratamiento, sin embargo se resalta a *Lemna gibba* como mejor alternativa de remoción, que alcanza porcentajes de 98,6% de remoción para *Escherichia coli* y el 97% en coliformes totales.

- Benítez, (2008). Realizó un estudio sobre la “Evaluación de la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) y Tul (*Thypha spp*) utilizadas en la planta de tratamiento de aguas residuales La Cerra-Villa Canales por medio de fluorescencia de rayos x”. La investigación tuvo como objetivo

evaluar y analizar la distribución de metales pesados en las plantas acuáticas mencionadas.

Los resultados demostraron que sí existen diferencias significativas de metales pesados en los diferentes tejidos (hoja y raíz) de las plantas acuáticas Jacinto de agua y Tul. La concentración de metales pesados acumulados se hizo más evidente en las raíces que en las hojas, independiente de su origen en la laguna anaeróbica o en los biofiltros. Los resultados muestran la bioacumulación de calcio, vanadio, manganeso, hierro, níquel, cobre, zinc, arsénico, plomo, rubidio, potasio, cromo, estroncio y titanio en niveles significativos y variables en el Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*) y Tul (*Thypha spp*).

El efecto depurador del Jacinto de agua (*Eichhornia crassipes*) además de remover grandes cantidades de nitrógeno y fósforo, se encontró metales pesados como manganeso, cromo, cobre, zinc y plomo y en comparación entre las dos especies, para éste estudio el Jacinto acuático presenta más habilidad fitodepuradora.

1.3.1.2 A Nivel Nacional.

- Torres, Navarro, Languasco, Campos y Cuizano, (2007). Realizaron una investigación que consistió en un “Estudio preliminar de la fitorremediación de cobre divalente mediante *Pistia stratiotes* (lechuga de agua)”. Dicha investigación tuvo como objetivo demostrar la capacidad de *Pistia stratiotes* en la remoción de contaminantes como el cobre (II).

Los resultados obtenidos demostraron que *Pistia stratiotes* es capaz de descontaminar aguas residuales y que tiene un alto potencial para la eliminación de iones cobre de soluciones acuosas a concentraciones de hasta 1mg/l a pH 5, donde el metal es estable en solución acuosa y la planta sobrevive por más de 2 días. La planta es

capaz de absorber hasta un 70% del cobre disuelto, el cual es alcanzado luego de 6 horas de estar en contacto con la solución, experimentando un ligero incremento en el pH. La selectividad de *Pistia stratiotes* frente a otros iones presentes en solución, se debe a la acidez de Lewis presente en los metales pesados por encima de los pequeños cationes divalentes, insertándose rápidamente en sistemas celulares y enzimáticos.

El pH es considerado como el principal efecto en la absorción del metal, influyendo principalmente en la especiación química del ion cobre en solución acuosa, los cuales condicionan su acidez y su química de coordinación. De lo expuesto se plantea que *Pistia stratiotes* es una planta detoxificante, apropiada para eliminar cobre divalente a condiciones ambientales.

- Pastor, Soplin y Sáenz, (2010). Realizaron el estudio sobre “Fitorremediación en el tratamiento de aguas residuales con metales con especies del humedal natural de Pampa Chica- Iquitos”. El objetivo del presente estudio fue aplicar fitorremediación a las especies vegetales del humedal natural, demostrando que son aptas para el tratamiento de aguas residuales.

Para la investigación se recolectaron 132 especies, las cuales fueron sometidas a un proceso de aclimatación. Se aclimataron 21 especies vegetales recolectadas en época de creciente alta, creciente baja y vaciante tales como: Pega Pega (*Homolepis aturensis*), Arroz de bufeo (*Oryza Grandiglumis*), Gramalotillo (*Paspulum reprens*), Gramalote (*Echinochloa polystachya*), Lagarto Ishanga (*Caperonia Zaponzeta*), Grama (*Urochloa mutica*), Putu putu (*Eirchhornia Azurea*), Huama (*Pistia Stratiotes*), Limnobium laevigatum, Flor de clavo (*Ludwigia erecta*), Tangarana negra (*Symeria paniculata*), Nudillo (*Panicum pilosum*), Gramalote negro (*Hymena chnedonacifolia*), Tabaco de lagarto (*Polygonuma cuminatum*), Gramilla (*Leptpchloa panicoides*), Dandy (*Acrocera zizanioides*),

Lenteja de agua (*Salvinia aminima*), Lentejita (*Azolla carolliniana*), Torurco (*Axonopus compressus*), Arco saca (*Ludwigia leptocarpa*) y Jacinto de agua (*Eichhornia Crassipes*).

En la determinación de acumulación de Hierro, las especies Gramalote negro, Grama, Flor de clavo, Putu putu, Tangarana negra y Lenteja de agua tienen una eficiencia de este metal en rangos de (89 – 35 %)

En la determinación de acumulación de Bario, las especies Lenteja de agua, Nudillo y Gramalote tuvieron una mejor eficiencia en comparación con las otras especies analizadas en rangos de (21– 03%). En la determinación de acumulación de Plomo, las especies Tabaco de lagarto, Lagarto Ishanga y Tangarana negra son mejores acumuladoras de este metal ya que lograron tener una eficiencia igual o mayor al 50%.

En la determinación de acumulación de Mercurio, las especies Gramalote, Putu putu y Grama son mejores acumuladoras de este metal ya que lograron tener una eficiencia por encima o cerca del 50 %. En la determinación de acumulación de Cromo, las especies Gramalote, Putu putu, son buenas acumuladoras de este metal ya que lograron tener una eficiencia mayor o igual al 50% y la especie Lagarto Ishanga obtuvo un 37% de eficiencia.

En la determinación de Cadmio, las especies Putu putu, Grama y Gramalote tuvieron una mejor eficiencia de acumulación de este metal en comparación con las otras especies analizadas.

Se ha determinado que la fitorremediación en las 21 especies vegetales oscila entre 03%-87% de acumulación de las sales tóxicas, siendo valores elevados de alta importancia para una fitorremediación artificial.

1.3.2 Bases Teóricas

1.3.2.1 Aguas Residuales

Romero (2001), define al agua residual o agua servida como una combinación de los líquidos y residuos arrastrados por el agua proveniente de casa, edificios comerciales, fábricas e instituciones combinadas con cualquier agua subterránea, superficial o pluvial que pueda estar presente.

➤ Clasificación de las Aguas Residuales:

De acuerdo a Jimeno (1998), las aguas residuales según las principales fuentes de contaminación, se pueden clasificar de la siguiente forma.

1. Aguas blancas o de lluvia.- Son aguas procedentes de drenajes o de escorrentía superficial, caracterizándose por grandes aportaciones intermitentes y escasa contaminación.

2. Aguas de origen doméstico.- Estos vertidos se caracterizan por la incorporación de productos orgánicos, inorgánico y microorganismos; entre los productos orgánicos pueden señalarse residuos de origen vegetal, origen animal, deyecciones humanas, grasa, etcétera. Al sufrir procesos de fermentación huelen a ácido sulfhídrico, pasando su color a gris negruzco.

(Hernández, 1996). Las deyecciones humanas pueden considerarse con un contenido de 30% de N, 3% de ácido fosfórico (PO_4H_3) Y 6% K_2 . El vertido de orina por habitante puede estimarse de 1,2 a 2,4 l/día, constituyendo la urea el 50% de dicha cantidad. Los productos inorgánicos consisten en productos disueltos (sales) y elementos inertes como residuos de materiales, tierras, arena, papel, etcétera.

3. Aguas de origen industrial.- Con independencia del posible contenido de sustancias similares a los vertidos de origen doméstico, pueden aparecer elementos propios de cada actividad

industrial, entre los que puede citarse: tóxicos, iones metálicos, productos químicos, hidrocarburos, detergentes, pesticidas, productos radioactivos, etcétera.

4. Aguas de origen agrícola.- Sustancias de actividades agrícolas y ganaderas (pesticidas y herbicidas, residuos, estiércol, etcétera.). Para Hernández (1996), estos residuos perjudican sensiblemente a las características del agua del curso receptor. Otras sustancias son los fertilizantes, que antes eran de origen orgánicos, y hoy han sido sustituidos por abonos de origen inorgánico, tales como sulfatos, nitratos, fosfatos, etcétera.

➤ **Características de las Aguas Residuales.**

El agua residual municipal fresca y aerobia tiene olor a queroseno y color gris. El agua residual con más tiempo de haber sido generada es séptica y pestífera; su olor característico es a sulfhídrico, similar al de los huevos podridos. El agua residual séptica es de color negro.

La temperatura del agua residual es mayor que la del agua potable, varía entre 10 y 20°C; esto se debe a que se añade calor al agua en los sistemas de plomería de las edificaciones.

Las aguas residuales domésticas están constituidas en un elevado porcentaje (en peso) por agua, cerca de 99,9 % y apenas 0,1 % de sólidos suspendidos, coloidales y disueltos. Esta pequeña fracción de sólidos es la que presenta los mayores problemas en el tratamiento y su disposición. El agua es apenas el medio de transporte de los sólidos.

El agua residual está compuesta de componentes físicos, químicos y biológicos. Es una mezcla de materiales orgánicos e inorgánicos, suspendidos o disueltos en el agua. La mayor parte de la materia orgánica consiste en residuos alimenticios, heces, material vegetal, sales minerales, materiales orgánicos y materiales diversos como jabones y detergentes sintéticos.

Las proteínas son el principal componente del organismo animal, pero también están presentes también en los vegetales. El gas sulfuro de hidrógeno presente en las aguas residuales proviene del Azufre de las proteínas.

Los carbohidratos son las primeras sustancias degradadas por las bacterias, con producción de ácidos orgánicos (por esta razón, las aguas residuales estancadas presentan una mayor acidez). Entre los principales ejemplos se pueden citar los azúcares, el almidón, la celulosa y la lignina (madera).

Los lípidos (aceites y grasas) incluyen gran número de sustancias que tienen, generalmente, como principal característica común la insolubilidad en agua, pero son solubles en ciertos solventes como cloroformo, alcoholes y benceno. Están siempre presentes en las aguas residuales domésticas, debido al uso de manteca, grasas y aceites vegetales en cocinas. Pueden estar presentes también bajo la forma de aceites minerales derivados de petróleo, debido a contribuciones no permitidas (de estaciones de servicio, por ejemplo), y son altamente indeseables, porque se adhieren a las tuberías, provocando su obstrucción. Las grasas no son deseables, ya que provocan mal olor, forman espuma, inhiben la vida de los microorganismos, provocan problemas de mantenimiento, etc.

La materia inorgánica presente en las aguas residuales está formada principalmente de arena y sustancias minerales disueltas. El agua residual también contiene pequeñas concentraciones de gases disueltos, entre ellos, el más importante es el oxígeno proveniente del aire que eventualmente entra en contacto con las superficies del agua residual en movimiento. Además, del oxígeno, el agua residual puede contener otros gases, como Dióxido de Carbono, resultante de la descomposición de la materia orgánica, nitrógeno disuelto de la atmósfera, sulfuro de hidrógeno formado por la descomposición de compuestos orgánicos, gas amoníaco y ciertas formas inorgánicas del

Azufre. Estos gases, aunque en pequeñas cantidades, se relacionan con la descomposición y el tratamiento de los componentes del agua residual.

1.3.2.2 Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas.

El tratamiento de aguas residuales (o agua servida, doméstica, etcétera.), incorpora procesos físicos químicos y biológicos, que tratan y remueven contaminantes físicos, químicos y biológicos introducidos por el uso humano cotidiano del agua. El objetivo del tratamiento es producir agua limpia o efluente tratado y reutilizable al ambiente, y un residuo sólido o lodo que con un proceso adecuado sirve como fertilizante orgánico para la agricultura o jardinería.

En el pasado, el objetivo del tratamiento era la remoción de parámetros como la Demanda Bioquímica de Oxígeno ($DBO_{5,20}$), sólidos suspendidos y patógenos, hoy en día la finalidad es la reutilización de los efluentes (Llagas y Guadalupe, 2006).

Los procesos de tratamiento típicos de las aguas residuales son:

➤ Tratamiento Primario.

Es para reducir aceites, grasas, arenas y sólidos gruesos; es decir el proceso de asentamiento de los sólidos. Este paso está enteramente hecho con maquinaria, por esa razón es conocido también como tratamiento mecánico.

➤ Tratamiento Secundario.

Es designado para degradar el contenido biológico de las aguas residuales que se derivan desperdicios generados por el hombre (desechos fecales, orinas, residuos de comida, jabones y detergentes); es decir el tratamiento biológico de sólidos flotantes y sedimentados.

➤ Tratamiento Terciario:

Etapas finales que permiten aumentar la calidad del efluente al estándar requerido antes de que éste sea descargado al ambiente receptor (mar,

río, lago, campo, etcétera.); es decir son pasos adicionales al tratamiento (micro-filtración o desinfección). Se puede utilizar más de un proceso terciario de tratamiento en una planta de tratamiento. Si la desinfección se practica siempre en el proceso final, a este proceso se le denomina “pulir el efluente”.

1.3.2.3 Sistemas de Tratamiento Biológico para Aguas Residuales Domésticas.

(León y Lucero, 2009). Son sistemas de depuración de bajo costo energético, que pueden ser una alternativa de tratamiento de las aguas residuales domésticas en entornos rurales al basarse en reproducir, en espacios limitados los procesos de depuración que se dan en la naturaleza, necesitando pocos o nulos aportes energéticos externos.

Además, los residuos que generan los procesos de depuración, así como el mantenimiento que requieren, son mínimos.

Entre los sistemas de tratamiento que pueden generar productos aplicables directamente en el entorno rural, cabe destacar los filtros verdes, filtros de turba, los humedales artificiales, las lagunas facultativas y de maduración o la combinación de diferentes métodos. Normalmente todos estos sistemas requieren un pre-tratamiento del agua residual a través de fosas sépticas o tanques Imhoff (Figueredo, 2005).

➤ Tipos de Sistemas de Tratamiento Biológico.

Se basan en la creación de un flujo controlado de agua residual, en el que la actividad microbiológica y plantas emergentes actúan asociadas, en el proceso de depuración de las aguas disminuyendo los contaminantes.

1) Lagunajes:

Se puede aplicar a núcleos de población superiores a los 200 habitantes, siempre que se disponga de una superficie de terreno de al menos 6.5m²/habitante. También son denominadas lagunas de estabilización, o de oxidación, tratan las aguas residuales crudas

mediante la interacción de la luz solar, viento y algas, con o sin la ayuda de un equipo de aeración mecánica.

En función de los tipos de microorganismos, que dependen, a su vez de la presencia de oxígeno disuelto, las lagunas se clasifican en:

- Aerobias.- Se dan a través de procesos naturales.
- Aireadas.- Se adiciona oxígeno para mejorar el proceso.
- Facultativas.- La biodegradación se da por la combinación de microorganismos aerobios y anaerobios en el fondo de las lagunas.

2) Humedales ó Wetlands.

Llagas y Guadalupe, (2006). Los definen como áreas de tierra inundada, con poca profundidad para que la vegetación pueda llegar a la parte inferior y sostenerse del suelo firme. Las plantas proveen a la superficie de una película de bacterias, ayuda en la filtración y absorción de componentes, transfiere oxígeno y controla el crecimiento de algas al evitar la penetración de la luz solar.

Los humedales pueden ser “**naturales**” en las que el ser humano vierte las aguas residuales con la finalidad de dar un tratamiento a estos desechos. Interactuando en la depuración especies propias del ecosistema.

También pueden ser “**artificiales**”, que consiste en el desarrollo de un cultivo de macrófitas enraizadas sobre un lecho de grava impermeabilizado. El funcionamiento de este sistema se fundamenta en tres principios básicos: la actividad bioquímica de microorganismos, el aporte de oxígeno a través de los vegetales durante el día y el apoyo físico de un lecho inerte que sirve como

soporte para el enraizamiento de los vegetales, además de servir como material filtrante.

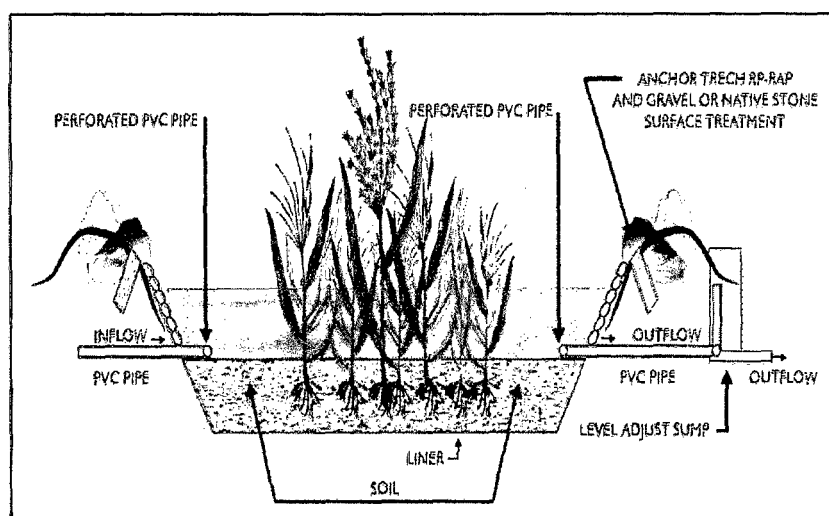
Los humedales basados en macrófitas enraizadas emergentes pueden ser de dos tipos, de acuerdo a la circulación del agua que se emplee:

a) Sistema de agua superficial libre (SASL).

Estos sistemas consisten típicamente de estanques o canales, con alguna clase de barrera subterránea para prevenir la filtración, suelo u otro medio conveniente a fin de soportar la vegetación emergente y agua en una profundidad relativamente baja (0,1 a 0,6 m), (MINCETUR, 2008).

Se aplica agua residual pre-tratada a estos sistemas, y el tratamiento ocurre cuando el flujo de agua atraviesa lentamente el tallo y la raíz de la vegetación emergente. Estos sistemas pueden utilizarse con el propósito de crear nuevos hábitats.

Fig. N°01: Sistema de agua superficial libre (SASL).



Fuente: MINCETUR, 2008.

b) Sistemas de flujo bajo la superficie (SFBS).

Para Delgadillo, Camacho y Pérez (2010), Son conocidos como bio-filtros horizontales, que consiste en un filtro de grava o

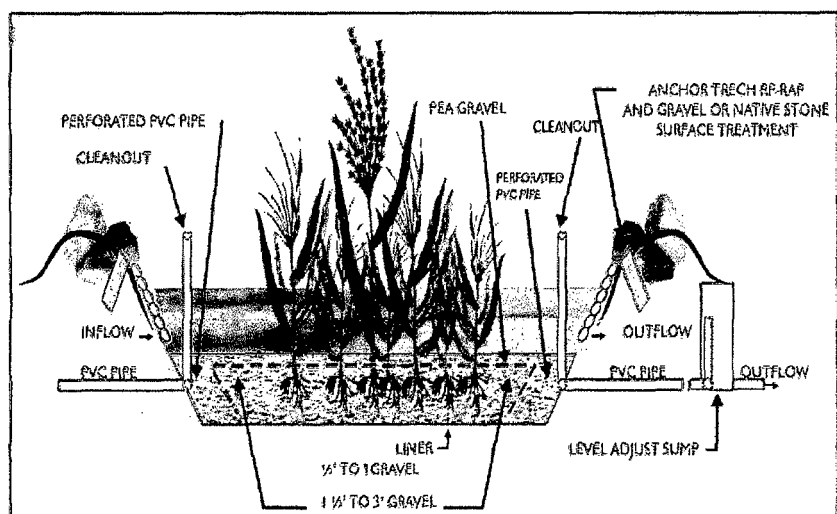
arena, sembrado con plantas emergentes y atravesadas de forma horizontal con aguas residuales tratadas previamente. La grava y arena al igual que en los percoladores, desarrolla una película micro bacteriana que degrada las sustancias contaminantes.

Las algas son incapaces de crecer en condiciones ausentes de luz, solamente las raíces y los tallos de la vegetación de los pantanos es capaz de introducir de manera natural el oxígeno tan necesario para la oxidación.

Estos sistemas de flujo bajo superficie son diseñados con el propósito de obtener niveles de tratamiento secundarios, son llamados «la zona de raíces» o «filtros de piedras de junco y caña» desarrollado en Alemania Oriental.

En función de la forma de aplicación de agua al sistema, los humedales de flujo subsuperficial pueden ser de dos tipos: humedales de flujo subsuperficial horizontal y humedales de flujo subsuperficial vertical (Delgadillo, Camacho y Pérez, 2010),

Fig. N°02: Sistemas de flujo bajo la superficie en forma horizontal (SFBS).



Fuente: MINCETUR, 2008.

3) Cultivos acuáticos.

Los cultivos acuáticos o sistemas de plantas acuáticas flotantes son una variación de los humedales artificiales en el que el agua en contacto con la atmósfera constituye la fuente principal de oxígeno para aireación; en la que se introduce un cultivo de plantas flotantes, como *Eichhornia sp* o *Pistia sp*, cuya finalidad es la eliminación de determinados componentes de las aguas a través de sus raíces que constituyen un buen sustrato responsable del tratamiento. Aunque una de las desventajas que presenta este tipo de sistemas es la proliferación de larvas de insectos.

1.3.2.4 Plantas Acuáticas en el Tratamiento de Aguas Residuales.

Las plantas acuáticas también conocidas como hidrófilas, son aquellas plantas que su ciclo vital, en especial el reproductivo, lo realizan en ambientes acuáticos. En su composición es predominante la cantidad de agua, por ello su contenido de materia seca está entre el 5 % y el 15% a diferencia de las plantas terrestres que tienen de un 10% a un 30% de materia seca, (Figueredo, 2005).

Las plantas acuáticas tienen en común su estructura herbácea. Las que se encuentran sumergidas o son flotantes no desarrollan cutícula en las superficies en contacto con el agua, para poder tomar de ella directamente los gases y los minerales que necesitan para vivir, y tampoco tienen tejidos mecánicos porque su capacidad de flotación las mantiene erguidas. Suelen tener tallos huecos, para poder transportar el aire hasta las raíces (Cartró, 2003).

➤ Correal (2002), clasifica a las plantas acuáticas como:

1) Emergentes:

Estas plantas crecen en el fondo y sus hojas sobresalen de la superficie del agua entre las más comunes para América del Sur se encuentran el carrizo (*Phragmites sp*), Juncos (*Juncus sp*) y la Espadaña (*Typha sp*).

2) Flotantes:

Son aquellas que tienen sus partes sintetizadoras sobre la superficie y sus raíces se extienden hacia debajo de la columna de agua. Se distinguen por su habilidad de derivar el dióxido carbono y las necesidades de oxígeno de la atmósfera directamente. Las raíces no solo sirven para extraer nutrientes del agua sino además sirven de sustrato para bacterias y como sistema de adsorción de sólidos suspendidos. Impiden la penetración de luz evitando que crezcan algas en la profundidad

Entre las plantas flotantes podemos encontrar a Jacinto acuático (*Eichhornia crassipes*); helechos de agua (*Salvina sp* y *Azolla sp*); repollo de agua (*Pistia sp*) y lentejas de agua (*Lemna sp*, *Wolffia sp*, *Wolffiella sp*).

3) Sumergidas:

Son las que no flotan en la superficie y sus raíces están sueltas dentro del agua o arraigadas en el fondo. Se distingue por la habilidad de absorber oxígeno, dióxido de carbono, y minerales de la columna de agua. Las plantas sumergidas se inhiben fácilmente por la turbiedad alta en el agua porque sus partes fotosintéticas están debajo del agua.

Nunca se las encuentra en sitios donde existen plantas flotantes, pues estas impiden el ingreso de la luz y las plantas sumergidas dejarían de realizar fotosíntesis.

1.3.2.5 Mecanismos de Depuración de las Plantas Acuáticas.

En los sistemas de tratamiento de agua residual con plantas acuáticas se desarrollan diferentes mecanismos de remoción de contaminantes del agua residual. Evidentemente, un amplio rango de procesos biológicos, químicos y físicos tiene lugar, por lo tanto la influencia e interacción de cada componente involucrado es bastante compleja.

Un hecho importante, especialmente en climas templados, es la capacidad de aislamiento térmico de las macrófitas. En invierno, la capa de tejido muerto que cubre la superficie protege del frío y por lo tanto de las disminuciones de temperatura del agua residual.

Por último, las macrófitas pueden proveer hábitat para la vida salvaje y dar una apariencia agradable a los sistemas de tratamiento de aguas residuales, según la especie escogida (Botero y Gutiérrez, 2006).

Los principales mecanismos de depuración en los que participan las macrófitas y que actúan sobre las aguas residuales son los siguientes:

1) Remoción de sólidos suspendidos.-

Los sólidos suspendidos del agua se eliminan por sedimentación, potenciada por la acción de las macrófitas que reducen la velocidad del agua, por la escasa profundidad y por filtración a través de las raíces de las macrófitas formas vivas y de los desechos vegetales (Benítez, 2008). El tratamiento previo es muy importante para evitar obstrucciones y la rápida colmatación del humedal.

2) Remoción de materia orgánica.-

La eliminación de la materia orgánica del agua, ya sea soluble o insoluble, es realizada por degradación aerobia o anaerobia de los microorganismos que viven adheridos al sistema radicular de la planta, en la degradación aerobia reciben el oxígeno a través de la aireación del agua, también por difusión del oxígeno del aire a través de la superficie del agua, (Arias, 2004).

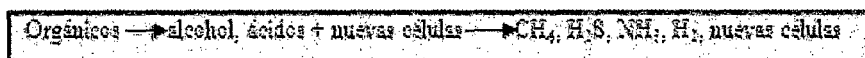
La degradación aerobia es más rápida y completa que la anaerobia, consiguiendo evitar los problemas de olores asociados a los procesos de descomposición anaerobia

Todos los microorganismos involucrados en este proceso de tratamiento requieren una fuente de energía y carbono para la síntesis

de nuevas células, como también otros nutrientes y elementos traza. De acuerdo a su fuente de nutrientes, están clasificados como heterótrofos o autótrofos. Los heterótrofos requieren material orgánico como fuente de carbono para la síntesis de nuevos microorganismos, en cambio, los autótrofos no utilizan materia orgánica sino dióxido de carbono como fuente de carbono, (Arias, 2004).

Ambos grupos usan luz o una reacción química de oxidación-reducción como fuente de energía para todas las síntesis y son llamados fotótrofos y quimiótrofos, respectivamente. En la degradación aeróbica, dos grupos de microorganismos participan en este proceso de degradación: aeróbicos quimioheterótrofos, oxidando compuestos orgánicos y liberando amonio; y aeróbicos quimioautótrofos, los cuales oxidan el nitrógeno amoniacal a nitrito y nitrato, el último proceso es llamado nitrificación. Sin embargo, debido a la tasa de metabolismo más alta, los heterótrofos son principalmente responsables para la remoción del material orgánico.

La degradación anaeróbica puede ser resumida como sigue:



Éste es un proceso de cuatro pasos, realizado por heterótrofos anaeróbicos y es menos eficiente comparado a la degradación aeróbica, pero predominará si el oxígeno no está disponible.

Una pequeña parte de la materia orgánica es removida por procesos físicos como la sedimentación y la filtración, cuando la materia es fijada a los sólidos suspendidos.

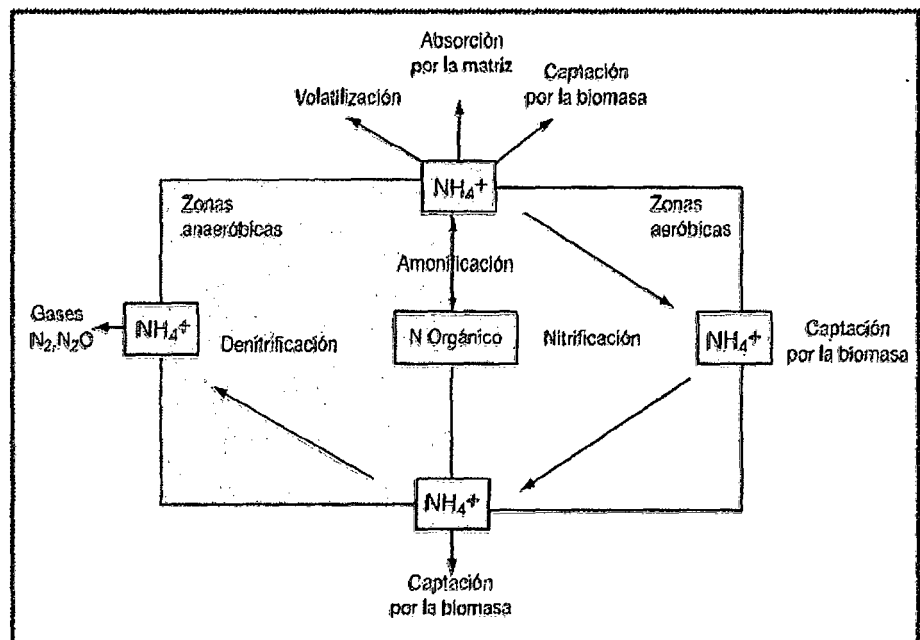
3) Remoción de nitrógeno.-

El nitrógeno se elimina por diversos procesos: absorción directa por la planta y en menor medida, por fenómenos de nitrificación desnitrificación y amonificación, realizados por bacterias.

Al momento que ingresa agua residual al humedal construido, la mayor parte del nitrógeno está presente como amonio o en forma de un compuesto inestable, que es fácilmente transformado a amonio. Los principales mecanismos de remoción de nitrógeno en humedales construidos son la nitrificación y la denitrificación, que ocurren en diferentes zonas del sustrato. Todo el proceso puede ser dividido en pasos, iniciando con la amonificación, seguido por la nitrificación y denitrificación.

La amonificación ocurre en las zonas aeróbicas, como también en zonas anaeróbicas, por la mineralización del nitrógeno contenido en los orgánicos.

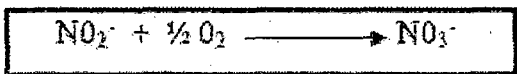
Fig. N°03: Diagrama del metabolismo del nitrógeno.



Fuente: Arias, 2004.

La nitrificación requiere la presencia de oxígeno disuelto (condiciones aeróbicas), amonio o nitrito como fuente de energía y dióxido de carbono como fuente de carbono. La oxidación en sí ocurre en dos estadios, cada uno involucra diferentes especies de bacterias nitrificantes quimioautótrofos. El primer paso es la oxidación de iones amonio a nitrito (nitrosificación).

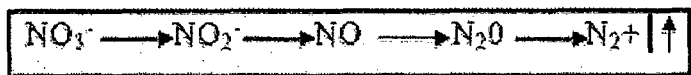
En este paso, la liberación de iones de hidrógeno baja el pH, por lo que es necesario un medio fuertemente alcalino para mantener un pH en el rango de 7.5 a 8.6 (Cooper, 1996). El género de bacterias que es considerado para catalizar esta reacción es Nitrosomas, en cambio el género Nitrobacter es responsable para la transformación de nitrito a nitrato.



Toda la reacción necesita un alto ingreso de oxígeno: alrededor de 4.5 kg por cada kg de amonio-nitrógeno ($\text{NH}_4\text{-N}$) oxidado. Las bacterias son sensibles a un amplio rango de inhibidores; así, altas concentraciones de nitrógeno amoniacal son inhibidoras. También concentraciones de oxígeno disuelto por más de 1 mg O₂/l son requeridos y temperaturas por debajo de 100 °C reducen el desempeño significativamente.

La denitrificación es el paso final en la remoción de nitrógeno. Ocurre bajo condiciones anóxicas, esto significa, que no hay oxígeno disuelto presente (o con una concentración < a 2% de saturación) pero donde el oxígeno está disponible en fuentes tales como el nitrato, nitrito o incluso sulfato.

Un amplio rango de bacterias anaeróbicas facultativas, siendo las más comunes *Pseudomonas sp*, *Achromobacter sp* y *Aerobacter sp*, realizan el proceso. Toda la reacción que incluye como primer paso la conversión de nitrato a nitrito, seguida por la producción de óxido nítrico y gas nitrógeno, puede ser resumida como sigue:



Los tres productos son gaseosos, pero mayormente el gas nitrógeno es perdido en la atmósfera debido a que los primeros dos productos son pasajeros en la mayoría de los casos. Similar al proceso de nitrificación, la denitrificación es también fuertemente dependiente de

la temperatura y es necesario suficiente carbono como fuente de energía para que la bacteria realice la conversión.

4) Remoción de fósforo.-

Los principales procesos de eliminación de fósforo que se producen en los sistemas acuáticos son por adsorción, precipitación química y por el consumo de las plantas.

El fósforo está presente en la alcantarilla en tres distintas formas: como ortofosfato, polifosfato y fosfato orgánico. El último es un constituyente menor de la alcantarilla y como los polifosfatos, requieren una posterior descomposición a una forma de ortofosfato más asimilable. Cerca del 25% del fósforo total fijado en la alcantarilla está presente como ortofosfatos tales como: PO_4^{3-} , HPO_4^{2-} , H_2PO_4 , H_3PO_4 , que están disponibles para el metabolismo biológico inmediato. Por lo tanto, en términos de utilización, en un sistema de tratamiento lo que importa es la concentración de fosfato orgánico antes que la concentración de fósforo total.

El fósforo, que normalmente está presente en forma de ortofosfato, es absorbido por minerales arcillosos y determinadas fracciones orgánicas de la matriz del suelo. También es removido por precipitación química con calcio (a valores de pH neutros o alcalinos) o con hierro o aluminio (a valores de pH ácidos), se produce a menor velocidad que los fenómenos de adsorción. Así estos sistemas acuáticos, presentan un potencial de eliminación de fósforo limitado.

El consumo de fósforo por la planta puede ser considerado como insignificante comparado con los efectos de adsorción, valores de alrededor del 3% de la carga anual han sido reportados. Dependiendo del valor de pH dentro del sustrato, el fósforo está presente en la forma de sal soluble o minerales insolubles, lo cual significa que el fósforo puede ser transferido dentro de un humedal construido.

5) Remoción de bacterias.-

Los organismos importantes, desde el punto de vista de la salud pública son las bacterias patógenas y los virus. Todos los patógenos son capaces de sobrevivir al menos un corto tiempo en agua natural, y más aún, en agua con temperaturas más frías y con presencia de polución orgánica (como en las aguas residuales).

Los mecanismos de eliminación de las bacterias y parásitos (protozoos y helmintos) comunes en estos sistemas de tratamiento natural está basada en una combinación de factores:

Los factores físicos son la acción de la radiación ultravioleta contenida en los rayos solares, sedimentación, filtración de virus y bacterias que posteriormente ocasionan su muerte.

Los mecanismos biológicos influyen en la muerte de microorganismo por acción predatoria de otros organismos (bacteriófagos y protozoos) y exposición a la toxicidad por antibióticos producidos y exudados por las raíces de las macrófitas. Finalmente, los factores químicos son la oxidación, adsorción de microorganismos en arcilla.

Rojas (2005), reporta remoción de bacterias (coliformes fecales) y enterobacterias en varios humedales en la República Checa, siendo la eficiencia de remoción entre 98% a 99% para estos indicadores bacterianos. En los casos en que se registraron las tasas más bajas, fue debido a tiempos de retención menores.

6) Remoción de metales pesados.-

Los metales traza tienen una alta afinidad por la adsorción y complejización con material orgánico y se acumulan en la matriz de un humedal construido. Los metales pueden encontrarse en formas solubles o como partículas asociadas, siendo los primeros las formas más biodisponibles.

También existe asimilación por la planta mediante la raíz, la cual atrapa y fija entre sus tejidos concentraciones de metal de hasta de 100

mil veces superiores a las del agua que las rodea, este proceso es gracias a la adsorción que involucra la unión de las partículas (o sustancias disueltas en solución), en partes de la planta o a la superficie de la matriz. En una reacción de intercambio catiónico, los iones metálicos positivamente cargados en solución se unen a los sitios negativamente cargados en la superficie del material adsorbente.

En cuanto a los procesos microbianos mediados, es necesario tener en cuenta que en un humedal construido se pueden distinguir dos zonas: la zona aeróbica, que contiene una alta proporción de material orgánico y la zona anaeróbica, dominada por materia inorgánica. Entre estas dos principales zonas también existen zonas anóxicas. La presencia de bacterias que oxidan metales en las zonas aeróbicas y bacterias que reducen sulfatos en las zonas anaeróbicas, que causarán la precipitación de óxidos de metal y sulfatos respectivamente, ha sido establecida por Rojas (2005).

1.3.2.6 Generalidades de las Especies en Estudio.

Las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* poseen características medioambientales, y que han tenido que desarrollar mecanismos de adaptación a un medio con amplia disponibilidad hídrica pero pobre en oxígeno.

Estas plantas acuáticas muestran epidermis muy delgada, a fin de reducir la resistencia al paso de gases, agua y nutrientes, y tejidos con un gran desarrollo de los espacios intercelulares que da lugar a una red de conductos huecos en los que se almacena y circula aire con oxígeno (Botero y Gutiérrez, 2006).

Esta red de canales facilita la difusión de gases entre los distintos órganos de la planta, y cuando la planta tiene parte de sus órganos por encima de la lámina del agua, permite la transferencia de oxígeno desde el aire y órganos fotosintéticos, hacia las raíces, y de allí hacia la rizósfera,

actuando como mecanismo oxigenador del agua del humedal (Benítez, 2008).

A. *Eichhornia crassipes*:

Es una planta acuática flotante originaria del Amazonas, altamente adaptable a una amplia gama de condiciones ambientales y climáticas. Benítez (2008), menciona que esta especie no soporta los ambientes salinos. Se la conoce por diferentes nombres comunes como: Jacinto de agua, Lirio acuático, Camalote, Taruya, Batata, Patito, entre otras.

Esta macrófita se ha convertido en un serio problema ambiental y económico en las zonas lacustres sobre todo en los embalses debido a su rápida diseminación y abundante biomasa, llegando a ser una plaga que obstaculiza la navegación, obstruye parcial o totalmente las tomas de agua y tubos o canales de presa y disminuye el valor estético y recreativo del cuerpo de agua; además de intervenir en la calidad del agua por el aporte de materia orgánica en descomposición y la consiguiente disminución de oxígeno disuelto en el agua, (Benítez, 2008).

Rojas (2005), menciona que esta planta produce entre 100,000 a 120,000 Kg de materia fresca por hectárea por año. Bajo condiciones ideales cada planta puede producir hasta 248 brotes en 90 días (Nimukunda y Botero, 2006). Este prolífico potencial de crecimiento es sin duda lo que hace posible su extraordinaria capacidad de depuración (Rodríguez, 1997).

➤ **Nomenclatura.-**

La macrófita acuática *Eichhornia crassipes* se encuentra dentro de la siguiente clasificación sistemática:

Reino	:	Plantae.
División	:	Magnoliophyta.
Orden	:	Commelinales.
Familia	:	Pontederiaceae.
Género	:	<i>Eichhornia</i> .
Especie	:	<i>E. crassipes</i> .

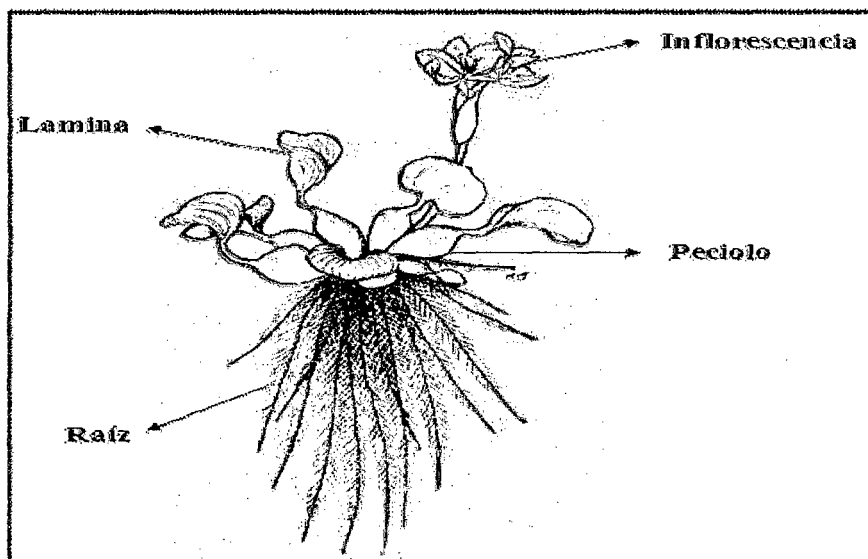
➤ **Morfología.-**

El tamaño de la planta varía según su hábitat, algunas investigaciones reportan que la longitud de la planta desde la parte superior de la flor hasta el extremo de las raíces varía entre 0.5 y 1.2m. Posee raíces sumergidas, carece de tallo aparente, el tallo vegetativo es sumamente corto. Está provista de un rizoma muy particular, emergente, del que se abre un rosetón de hojas, las cuales pueden estar sumergidas lineares y emergidas, de forma obovadas y redondeadas, presentes ascendentes a extendidas con peciolo cortos hinchados (bulbosos) de tejido parenquimatoso con muchas cámaras de aire (más del 70% de su volumen está ocupado de aire) que facilitan la flotación en la superficie del agua; crecen agrupadas con dimorfismo foliar (Rojas, 2005).

Su inflorescencia es por espigas agrupadas, abiertas, situadas unos 30 cm por encima de las hojas, donde brotan flores lilas y azuladas con una mancha amarilla en el lóbulo superior del perianto; de fruto en cápsula de 1,5 cm aproximadamente.

Las raíces son muy características, pueden ser negras con las extremidades blancas cuando son jóvenes o negro violáceas cuando son adultas. El sistema radicular representa entre un 10-48% del total de la biomasa de la planta, (Rojas, 2005).

Fig. N°04: Morfología de *Eichhornia crassipes*.



Fuente: Elaboración, propia 2012.

➤ **Reproducción.-**

Se multiplica y se propaga mediante la producción de estolones, semillas, rizomas, turiones, tubérculos, ya que cualquier fragmento de la planta es capaz de regenerar un nuevo individuo, lo que destaca su elevado potencial biótico. En las rosetas que surgen de la multiplicación, se forman raíces adventicias muy desarrolladas, laterales y con pelos epidérmicos.

Rodríguez (2009) expresa que se ha comprobado que, tanto la cantidad como la calidad de la biomasa del Jacinto de agua, dependen de la composición de nutrientes que tenga el agua donde ésta crece, considerándose que el nitrógeno y el fósforo son los nutrientes limitantes de su crecimiento.

León y Lucero (2008), observó que las plantas que crecían en aguas residuales domésticas con un valor promedio de 20 mg/l de nitrógeno, entre el 70 % y el 89 % de este eran incorporadas a la biomasa.

Otro aspecto interesante que se ha observado es la relación entre la parte germinativa de la planta y sus raíces con respecto a la

cantidad de nitrógeno presente en el agua. Se ha observado que en aguas de drenaje, la relación parte germinativa/raíz es de 1 ó 2; mientras que en aguas residuales esta relación se encuentra entre 3 y 6, (León y Lucero, 2009).

➤ **Distribución.-**

Esta especie se ha distribuido prácticamente por todo el mundo, ya que su aspecto ornamental originó su exportación a partir del año 1884 a estanques y láminas acuáticas de jardines. Posee una alta eficiencia fotosintética y velocidad de crecimiento, situándose en el lugar número ocho entre las diez malas hierbas acuáticas de rápido crecimiento, razón por la cual está actualmente considerada entre las 100 especies más invasoras del mundo por la UICN (Rojas, 2005).

➤ **Composición.-**

El componente principal de la planta es el agua, correspondiendo al 95% de la masa total. (Celis, Junod y Sandoval, 2005). La composición varía dependiendo del medio en el cual crezca la planta. Cuando hay escasez de elementos fertilizantes se inhibe el crecimiento de la planta. Por el contrario, en abundancia de nutrientes la planta se desarrolla a su máximo límite, adquiriendo un intenso color azul-verdoso.

Gracias a su extenso sistema de raíces tiene excelente poder de filtración y capacidad de absorber impurezas y contaminantes como el Ni, Cd, Pb, Hg, Cr, Cu, fenoles y otros (Celis, Junod y Sandoval, 2005). Además, la capacidad de adsorber, atrapar y fijar los indistintos elementos del agua.

➤ **Crecimiento Poblacional.-**

La habilidad de crecimiento y adaptación de esta especie le permite sobrevivir y extenderse en muchos sitios. Puede duplicar su tamaño en diez días y durante la estación normal de ocho meses de

crecimiento una sola planta es capaz de producir 70.000 plantas hijas. Otras proyecciones en relación al crecimiento mencionan rangos de una producción anual de 35-90 ton/ha y en condiciones ideales de nutrientes en el agua puede llegar a ser tan alta como 135 ton/ha/año (Celis, Junod y Sandoval, 2005).

➤ **Usos.-**

Siendo como se presenta, un problema ambiental, en la actualidad bajo varias investigaciones la *Eichhornia crassipes* ha sido una herramienta muy efectiva para el tratamiento de aguas residuales (Rojas, 2005).

A partir de la primera conferencia internacional sobre control biológico de aguas residuales, realizada en la Universidad de Pennsylvania en 1976, en donde fueron establecidos los primeros conceptos en el uso de plantas acuáticas para el tratamiento de aguas residuales.

Se presentaron entonces los primeros trabajos realizados con *Eichhornia crassipes* en los Laboratorios Nacionales de Tecnología Espacial (National Space Technology Laboratories, NSTL) de la NASA. Desde entonces, esta macrófita ha sido empleada en la fitorremediación y en la utilización como un bioindicador del agua en algunos humedales y embalses.

De acuerdo con estudios realizados en México, Argentina, Brasil y Florida el Jacinto tiene muchas bondades, por lo que ha sido investigado en la producción de pulpa para elaborar papel, también abono verde (orgánico), compost, biogás y alcohol.

➤ **Acción Depuradora:**

El Jacinto acuático puede remover algunos compuestos orgánicos, tales como fenoles, ácido fórmico, colorantes y pesticidas, y disminuir niveles de DBO, DQO y sólidos suspendidos (Benítez,

2008). También se han observado reducciones de bacterias de los efluentes, lo cual puede convertir a la biomasa en una fuente de contaminación, en cuyo caso se requiere un manejo cuidadoso en su cosecha.

Esta planta obtiene de las aguas residuales todos sus nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el nitrógeno y el fósforo, junto a los iones de potasio, calcio, magnesio fierro, amonio, nitrito, sulfato, cloro, fosfato y carbonato (Celis, Junod y Sandoval, 2005).

Sus raíces, pueden tener microorganismos asociados a ellas que favorecen su acción depuradora, haciendo que estas plantas sean capaces de retener en sus tejidos una gran variedad de metales pesados tales como cadmio, mercurio, arsénico; el mecanismo de cómo actúa se cree que es a través de formaciones de complejos entre el metal pesado con los aminoácidos presente dentro de la célula, previa absorción de estos metales a través de las raíces. Otro posible mecanismo sugiere que los microorganismos presentes en las raíces producen sólidos que flocculan y luego sedimentan por gravedad (Benítez, 2008).

B. *Pistia stratiotes*:

Es una planta acuática vascular y flotante que se asemeja a una cabeza abierta flotante del repollo (de allí su nombre vulgar), se la conoce comúnmente con el nombre de repollito de agua, lechuga de agua, lechuguín y es nativa de Sudamérica.

Su hábitat es de lagos, ríos, pantanos, canales y arrozales y algunas veces se cultivan en jardines acuáticos, fuentes y estanques artificiales.

A pesar de que las coberturas naturales del repollito de agua sirven de protección a las larvas de animales, como por ejemplo los peces, e

indirectamente como alimento debido al perifiton que se adhiere en sus raíces, su excesiva cobertura causada por la alteración de su ambiente crean problemas ecológicos negativos entre los que se destacan: eutrofización, sedimentación y proliferación de insectos dañinos a la salud (Bolaños, Casas y Aguirre, 2008).

El repollito de agua es el medio preferido más conocido para la propagación de insectos dañinos para la salud, dentro de ellos tenemos mosquitos del género *Mansonia*, y la propagación de mosquitos del género *Anopheles* transmisor de la malaria, (Torres; Navarro; Languasco; Campos y Cuizano, 2007).

➤ **Taxonomía.-**

La macrófita acuática *Eichhornia crassipes* se encuentra dentro de la siguiente clasificación:

Reino	:	Plantae.
División	:	Magnoliophyta.
Orden	:	Commelinales.
Familia	:	Aráceas.
Género	:	<i>Pistia</i> .
Especie	:	<i>P. stratiotes</i> .

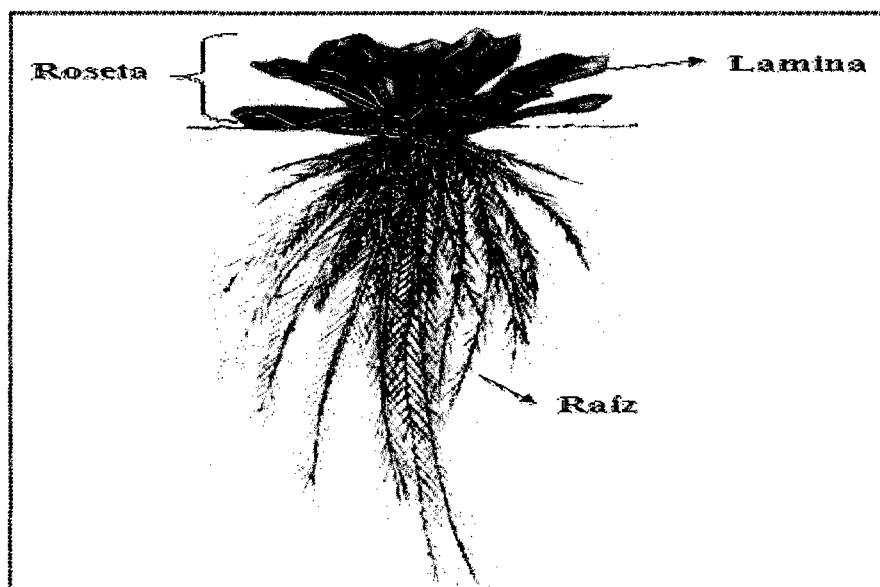
➤ **Morfología.-**

El repollito de agua es una bráctea grande, con frecuencia vistosa, llamada espata, que abraza y a veces rodea el espádice. Tiene hojas gruesas, de colores verdes embotados ligeros, melenudos y surcados y con abundantes aerénquimas (espacios aéreos) se disponen formando una roseta. Poseen muchas raíces fibrosas, de color claro y plumoso (Bolaños, Casas y Aguirre, 2008).

Sus flores son pequeñas y discretas de color crema, el olor hediondo que emiten algunas de estas flores atrae a las moscas de la carroña, que quedan atrapadas en la espata y realizan así la

polinización. Estas plantas alcanzan dimensiones que van desde los 5cm hasta los 20 cm de altura y en diámetro desde los 6 hasta los 20 cm, (Carranza y Luna, 2006).

Fig. N°05: Morfología de *Pistia stratiotes*.



Fuente: Propia 2012.

➤ **Reproducción.-**

Esta planta acuática se propaga generalmente por medio de los estolones que se rompen fácilmente de las cuerdas de la planta. También se reproduce sexualmente por medio de semillas.

En aguas naturales presenta una tasa relativa de crecimiento de 7,9% día⁻¹, duplicando vegetativamente el número de plantas en 9 días. El rango de temperatura apto para su desarrollo va desde los 17 hasta los 30° C. Son de crecimiento rápido y necesitan un pH de 5-8 para su óptimo crecimiento (Torres; Navarro; Languasco; Campos y Cuizano, 2007).

➤ **Distribución.-**

El repollito de agua es primordialmente tropical, aunque hay representantes en las regiones de clima templado (Bolaños, Casas y Aguirre, 2008) y se encuentra en toda Latino América y su distribución se debe a su utilización como plantas ornamentales.

En nuestra región se las encuentra en gran cantidad en la zona del Alto Mayo eutrofizando cuerpos de agua lenticas pertenecientes a zonas destinada a la producción de arroz y en algunos renacales cerca a la ciudad de Rioja y Nueva Cajamarca (Autoras).

➤ Composición.-

A nivel mundial son escasas las informaciones sobre el valor nutritivo del repollito de agua, por lo que el conocimiento de sus ventajas potenciales podría despertar interés para su estudio en la alimentación animal.

Carranza y Luna (2006), analizó la composición química del repollito, en el cual estudio el valor nutritivo en relación a los requerimientos alimenticios de diversas especies de interés zootécnico y se compara con la de otros materiales nutritivos suministrados en la dieta animal.

A continuación se detalla y compara la composición química del repollito de agua:

Cuadro N°01: Comparación porcentual de la composición química del repollito de agua (*Pistia stratiotes*) con algunos ingredientes alimenticios experimentados en la alimentación para pollos.

Nombre Común	Nombre Científico	PC	EE	FC	ELN	C	Ca	P	Ca/P
Maiz1	<i>Zea mays</i>	8,8	5,1	1,2	82,3	2,12	0,07	0,36	0,19
Harina de coco2	<i>Cocos nucifera</i> L.	21,34	7,13	11,26		5,97	0,15	0,48	0,31
Harina de mani2	<i>Arachis hypogaea</i>	4,7	4,9	6,5	6	2,7	0,11	0,62	0,18
Harina de nuez de palma africana2	<i>Elaeagnus africanus</i>	20	18,05	14,50	42,57	5,02			
Bora3	<i>Eichhornia crassipes</i>								
Hojas tiernas		10,46	1,00	23,0	42,13	13,32	1,84	0,18	10,22
Raíz tierna		8,54	0,60	17,1	30,14	35,50	0,48	0,23	2,09
Hojas maduras		6,64	1,06	24,8	44,85	12,24	1,19	0,15	7,93
Raíz madura		7,58	0,46	17,0	38,97	27,90	0,70	0,22	3,18
Repollo de agua/	<i>Pistia stratiotes</i>	8,62	1,16	19,13	46,62	21,12	3,24	0,22	14,72

Fuente: Carranza y Luna 2006.

➤ **Usos.-**

La biomasa de esta especie puede ser usada en la producción de forraje, biogás y para el tratamiento de aguas residuales (Torres; Navarro; Languasco; Campos y Cuizano, 2007).

➤ **Acción Depuradora.-**

Se han realizado estudios vinculados a la absorción y efectos tóxicos de distintas concentraciones de metales pesados tales como Cr, Cd y Cu registrándose los mismos en variables bioquímicas (actividades enzimáticas y contenido de ARN, proteínas, aminoácidos y azúcares), (Torres; Navarro; Languasco; Campos y Cuizano, 2007).

Los efectos de los metales sobre la morfología de esta macrófita han sido poco estudiados, así como las posibles alteraciones estructurales que aquellos producen.

El repollito de agua cumple los requisitos para ser considerado un buen bioindicador de calidad de agua: es una especie abundante, forma parte de nuestros ecosistemas acuáticos, muestra un rápido crecimiento, es de fácil manejo en el laboratorio y es sensible a la presencia de contaminantes.

1.3.2.7 Parámetros Físicos, Químicos y Biológicos a Estudiar.

➤ **Coliformes:**

Los organismos patógenos que pueden existir en las aguas residuales son, generalmente pocos y difíciles de aislar e identificar por esta razón se prefiere utilizar a los coliformes como organismos indicadores de contaminación o, en otras palabras, como indicador de la existencia de organismos productores de enfermedad.

El hombre arroja diariamente, en sus excrementos, entre 10^9 y 4×10^{11} coliformes, por tanto su presencia puede detectarse con facilidad y utilizarse como una norma de control sanitario.

➤ **pH:**

Es una medida de la acidez o basicidad de una solución; el pH es la concentración de iones o cationes hidrógeno presentes en determinada sustancia.

En aguas naturales y residuales el valor del pH define si las condiciones de esta son ácidas o básicas. Un pH menor de 7.0 indica acidez en el agua, cuanto menor sea el valor del pH mayor es la concentración de iones hidrogeno y mayor es la acidez.

Por encima de un pH de 7.0 se tienen condiciones básicas en el agua. La concentración de iones hidrogeno es baja y se dice que el agua es alcalina.

Cuando el pH es de 7.0 se dice que el pH es neutro y el agua no tiene características ácidas ni alcalinas. El pH óptimo de las aguas debe ser entre 6.5 y 8.5 es decir, entre neutra y ligeramente alcalina, el máximo aceptado es 9 donde relativamente existe la mayor parte de la vida biológica. Las aguas residuales con valores de pH menores a 5 y superiores a 9 son de difícil tratamiento mediante procesos biológicos, si el pH del agua residual tratada no es ajustado antes de ser vertido, el pH de la fuente receptora puede ser alterado; por ello, la mayoría de los efluentes de las plantas de tratamiento de aguas residuales deben ser descargados dentro de los límites específicos de pH.

➤ **Temperatura:**

La temperatura es importante, ya que muchos de los sistemas de tratamiento de aguas residuales incluyen procesos biológicos que dependen de la temperatura, esta influye de forma muy significativa en las especies acuáticas determinado su metabolismo, productividad primaria, respiración y descomposición de materia orgánica.

La temperatura de un agua residual varía de estación en estación y también con la posición geográfica. En regiones frías, la temperatura varía de 7 a 18°C mientras que en regiones calidas la variación será de 13 a 30°C.

La temperatura del agua residual suele ser siempre más elevada que la del agua de suministro, hecho principalmente debido a la incorporación de agua caliente procedente de las casas y los diferentes usos industriales.

➤ **Conductividad Eléctrica:**

Es una expresión numérica de la capacidad de una solución para transportar una corriente eléctrica. Si el agua tiene un número grande de iones disueltos su conductividad va a ser mayor. Cuanto mayor sea la conductividad del agua, mayor es la cantidad de sólidos o sales disueltas en ella, este parámetro de medición es muy empleado cuando se desea conocer la cantidad de sólidos totales disueltos (STD).

En las aguas naturales los iones que son directamente responsables de los valores de conductividad son el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos.

➤ **Sólidos Suspendidos Totales:**

El agua residual contiene una variedad de materiales sólidos que varían desde hilachas hasta materiales coloidales. En la caracterización de las aguas residuales, los materiales gruesos son removidos generalmente antes de analizar los sólidos en la muestra. Existen tres tipos de sólidos que se pueden cuantificar en las aguas residuales entre estos están:

Los sólidos totales representan la suma de los SDT (Sólidos Disueltos Totales) y SST (Sólidos Suspendidos Totales), además estos poseen fracciones de sólidos fijos y sólidos volátiles, que pueden ser sedimentables y no sedimentables.

Los sólidos en suspensión es el material que se encuentra en fase sólida en el agua en forma de coloides o partículas sumamente finas, y que causa en el agua la propiedad de turbidez. Cuanto mayor es el contenido de sólidos en suspensión, mayor es el grado de turbidez. A diferencia de los sólidos disueltos, estos pueden separarse con mayor o menor grado de dificultad por procesos mecánicos como son la sedimentación y la filtración.

Generalmente cerca del 60% del total de sólidos suspendidos en aguas residuales son sedimentables. La prueba de SST son usados comúnmente como una medida de desempeño de las unidades de tratamiento y con propósitos de control.

➤ **Cloruros:**

Se les considera aniones inorgánicos principales del agua natural y residual. La concentración de cloruros es mayor en las aguas residuales ya que el NaCl es muy común en la dieta alimentaria y pasa inalterado a través del sistema digestivo encontrándose en gran cantidad en la orina del hombre y animales. Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones, estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

➤ **Sulfatos:**

El Azufre se encuentra en forma natural como ión sulfato en aguas de abastecimiento como aguas residuales. El azufre es un elemento indispensable para la síntesis de proteínas y por eso se libera cuando ocurre la degradación de las mismas. Los sulfatos se reducen biológicamente a sulfuros bajo condiciones anaerobias y pueden formar sulfuro de hidrógeno (H_2S) al combinarse con el hidrógeno, produciendo malos olores.

Se ha notado que si el contenido de Sulfatos es superior a 200mg/l produce un efecto tóxico en las plantas y si la concentración es superior a 500mg/l, es tóxico también en animales.

➤ **Nitratos:**

Nitratos, nitritos y amonio se producen en los procesos de desaminación y nitrificación que sufre la materia orgánica tras la contaminación fecal, a expensas de la propia flora microbiana de las heces:

La concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l de N, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación. Todas las plantas dependiendo de la especie y de su estructura fisiológica pueden captar nitrógeno en diferentes cantidades, pudiendo utilizar tanto amonio (NH_4^+), nitritos (NO_2^-) ó nitratos (NO_3^-) como fuente de nitrógeno, debido a que sus estructuras especialmente se conforman de proteínas, las cuales son largas cadenas de aminoácidos en cuya estructura es esencial el nitrógeno.

➤ **Fosfatos:**

El fósforo es importante en el crecimiento de las algas y otros organismos biológicos. Debido al nocivo crecimiento incontrolado de algas en aguas superficiales, se han realizado grandes esfuerzos para controlar la cantidad de compuestos del fósforo provenientes de descargas de aguas residuales domésticas y de escorrentía natural.

Las aguas residuales municipales por ejemplo, pueden contener entre 4 y 12 mg/l de fósforo expresado como compuestos fosforados. Las formas más frecuentes en que se puede encontrar fósforo en soluciones acuosas incluyen ortofosfatos, polifosfatos y fósforo inorgánico. Los ortofosfatos están disponibles para el metabolismo sin que sea necesaria una ruptura posterior.

➤ **Oxígeno Disuelto:**

El Oxígeno proviene de la mezcla del agua con el aire, ocasionada por el viento y/o en la mayoría de los casos, principalmente de oxígeno que liberan las plantas acuáticas en sus procesos de fotosíntesis. La solubilidad del oxígeno como la de cualquier otro gas en el agua,

depende de a presión atmosférica imperante en cada sitio, de la temperatura media del cuerpo de aguas y de su contenido en sales disueltas. En términos generales, la solubilidad del oxígeno en el agua es directamente proporcional a la presión e inversamente proporcional a la temperatura y a la concentración de sales disueltas.

El oxígeno disuelto es necesario para la respiración de los microorganismos aerobios, así como para otras formas de vida. Debido a que la velocidad de las reacciones bioquímicas que consumen oxígeno aumenta con la temperatura, los niveles de oxígeno disuelto tienden a ser más críticos en las épocas de verano, razón por la cual la cantidad total de oxígeno disponible es también menor. Dado que evita la formación de olores desagradables en las aguas residuales, es deseable y conveniente disponer de cantidades suficientes de oxígeno disuelto.

➤ **DBO_{5,20}:**

Es la cantidad de oxígeno usada en la oxidación bioquímica de la materia orgánica, bajo condiciones determinadas en tiempo y temperatura. Es la principal prueba utilizada para la evaluación de la naturaleza del agua residual. La DBO_{5,20} se determina generalmente a 20 °C después de incubación durante 5 días; se mide el oxígeno consumido por las bacterias durante la oxidación de la materia orgánica presente en el agua residual, por cinco días a 20 °C.

Si existe suficiente oxígeno disponible, la descomposición biológica aerobia de un desecho continuará hasta que el desecho se haya consumido.

1.3.3 Definición de Términos

➤ **Absorción:**

En química, es un proceso físico o químico en el cual átomos, moléculas o iones pasan de una primera fase a otra incorporándose al volumen de la segunda fase. Esta segunda fase puede ser líquida, gaseosa o sólida.

➤ **Adsorción:**

Es un proceso por el cual átomos, iones o moléculas son atrapados o retenidos en la superficie de un material, en contraposición a la absorción, que es un fenómeno de volumen.

➤ **Aerobio:**

Se denomina aerobios a los organismos que necesitan del oxígeno diatómico para vivir o a los procesos que lo necesitan para poder desarrollarse.

➤ **Afluente:**

Aguas residuales crudas que proceden de la red de alcantarillado y fluye hacia dentro de un estanque, depósito o planta de tratamiento para ser tratada. Puede ser que venga directamente de la fuente de las excretas o sea suministrado de forma controlada.

➤ **Anaerobio:**

Se llama anaerobios a los organismos que no necesitan oxígeno para desarrollarse, a diferencia de los organismos aerobios.

➤ **Efluente:**

Un líquido que fluye hacia fuera del depósito confinado que lo contiene. Aguas negras, agua o cualquier otro líquido, parcial o totalmente tratado, o en su estado natural, como puede ser el caso de la salida de un depósito, estanque o planta de tratamiento.

➤ **Bioacumulación:**

Hace referencia a la acumulación neta, con el paso del tiempo, de metales (u otras sustancias persistentes) en un organismo a partir de fuentes tanto bióticas (otros organismos) como abióticos (suelo, aire y agua).

➤ **Biofiltro:**

También denominados filtros biológicos, son dispositivos que eliminan una amplia gama de compuestos contaminantes de una corriente de fluido (aire o agua) mediante un proceso biológico.

➤ **Biomasa:**

Es el conjunto de recursos forestales, plantas terrestres y acuáticas, residuos y subproductos agrícolas, ganaderos urbanos e industriales. Esta fuente energética puede ser aprovechada mediante su combustión directa a través de su transformación en biogás, bioalcohol, etcétera.

➤ **Estándares de Calidad Ambiental (ECA):**

Son indicadores de la calidad ambiental, miden la concentración de elementos, sustancias, parámetros físicos, químicos y biológicos, presentes en el aire, agua o suelo, pero que no representan riesgo significativo para la salud de las personas. La medición de un ECA se realiza directamente en los cuerpos receptores.

➤ **Eutrofización:**

Es un proceso que ocurre en los cuerpos de agua donde se produce enriquecimiento con nutrientes, lo que conlleva a un incremento de algas y macrófitas, provocando un deterioro de la calidad del agua e interfiriendo con el uso de la misma.

➤ **Fitorremediación:**

Uso de plantas, y de su microbiota asociada para reparar suelos o aguas subterráneas contaminadas. Las técnicas de fitorremediación incluyen la utilización de enmiendas de suelo y técnicas agrónomas para trasladar, contener o convertir los contaminantes del medio en una forma química que disminuya su disponibilidad química o biológica.

➤ **Límite Máximo Permisible (LMP):**

Concentración o grado de elementos, sustancias o parámetros físicos, químicos y biológicos, que caracterizan a un efluente o a una emisión, que al ser excedido causa o puede causar daños a la salud, bienestar humano y al ambiente. La medición de un LMP, en los puntos de emisión y vertimiento.

➤ **Macrófitas:**

Son plantas superiores, algas, musgos o briofitas macroscópicas, adaptadas a la vida en el medio acuático. Son importantes componentes ecológicos de los sistemas acuáticos al ser productoras primarias que proveen hábitat para invertebrados.

➤ **Nata:**

Material sólido flotante donde se acumulan sólidos suspendidos, restos de algas, material plástico y otros, originando que no se realice una buena oxigenación del agua y que la luz no pueda llegar hasta las capas más profundas.

➤ **Tiempo de Retención Hidráulico (TRH):**

Tiempo total que el agua demora en movilizarse por todo el sistema hasta su descarga en el cuerpo receptor.

1.4 VARIABLES

1.4.1 Variable dependiente:

-Agua Residual Depurada.

1.4.2 Variable independiente:

-Acción Depuradora de *Eichhornia crassipes*.

-Acción Depuradora del *Pistia stratiotes*.

1.5 HIPÓTESIS

La hipótesis planteada para la presente investigación es:

La especie *Eichhornia crassipes* es más eficiente en la depuración de aguas servidas, que la especie *Pistia stratiotes*, en la ciudad de Moyobamba.

CAPÍTULO II

MARCO METODOLÓGICO.

2.1 Tipo de Investigación.

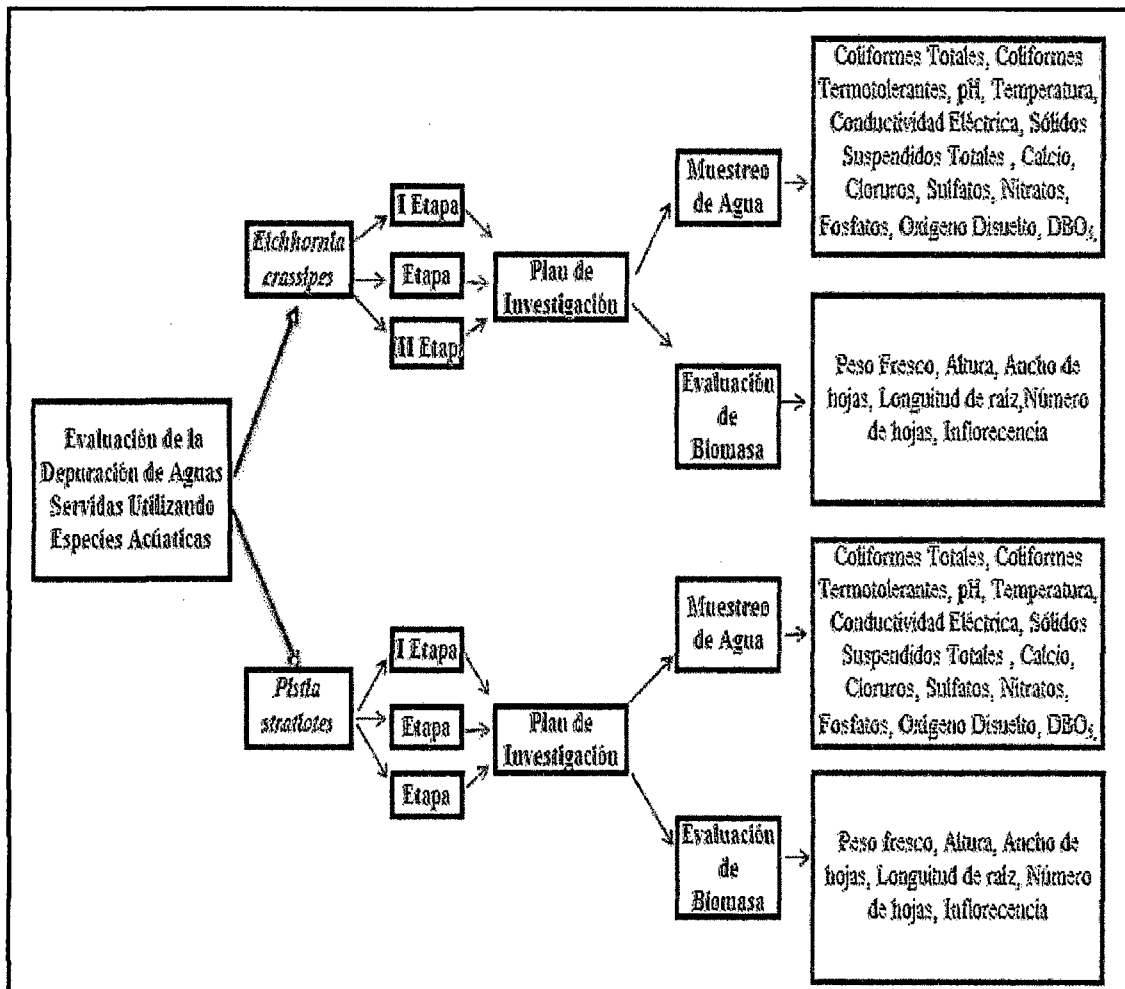
2.1.2 De acuerdo a la Orientación.

Básica.

2.1.3 De acuerdo a la Técnica de Contrastación.

Descriptiva.

2.2 Diseño de Investigación (Descriptiva).



Fuente: Elaboración propia, 2012.

2.3 Población y Muestra.

➤ Población.

La población está comprendida por el caudal estimado para una familia conformada por 06 habitantes:

$$Q=399 \text{ l/día.}$$

➤ Muestra.

Se realizaron en total 32 muestras de agua residual, de las cuales 16 muestras corresponden al tratamiento uno (*Eichhornia crassipes*) y los 16 restantes al tratamiento dos (*Pistia stratiotes*). En cada muestra se recolectó 200 ml de agua residual.

2.4 Técnicas e Instrumentos de Recolección de Datos.

Dependiendo del tipo de investigación a realizar, las técnicas de recolección de información pueden ser de dos formas: la primera es aquella que utiliza la información existente denominada **Información Secundaria** y la segunda que trabaja con información de primera mano debido a la escasez de información existente acerca de un determinado tema llamada **Información Primaria**.

Para evaluación de la eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en la depuración de aguas servidas, se hizo uso de ambas técnicas.

2.4.1 Técnicas de Recolección de Datos Primaria.

➤ Etapa de Selección de sitio.

Para la instalación experimental del sistema de tratamiento de aguas residuales domésticas, se seleccionó una vivienda ubicada en el sector Metoyacu, perteneciente al área rural de la ciudad de Moyobamba, que no estaba conectado a la red de alcantarillado. Dicha vivienda estuvo conformada por una familia de 06 habitantes, cuyas aguas residuales no tenían tratamiento alguno y eran vertidas al medio ambiente, conllevando a la generación de malos olores, proliferación de enfermedades, degradación de suelos y paisaje.

En la construcción del sistema se consideró un área del terreno cercana a las instalaciones de los servicios básicos de la casa, conservando una pendiente ligera del 1% para mejorar la circulación del agua.

➤ **Etapas de Diseño del Sistema de Tratamiento.**

Para el diseño del sistema se tomó como base las recomendaciones realizadas por León y Lucero (2009), donde establecen TRH de 8 a 13 días en el sistema, para que después que las aguas hayan sido descargadas en el sistema estas circulen por un TRH establecido. En nuestro caso se optó por un TRH de 8 días, tratando de mejorar los procesos anaeróbicos.

El diseño del sistema de tratamiento de aguas servidas en nuestra investigación, son el resultado de aplicar las siguientes fórmulas que fueron sugeridas por algunos autores y especialistas en el tema.

a) Cálculo del caudal estimado.

En éste punto se muestra el cálculo del caudal estimado para el tratamiento de las aguas residuales proveniente de una familia integrada por 06 personas, con una dotación estimada 95 l/h/día, (Ver anexo 02).

$$Q = \text{Dotación} \times N^{\circ} \text{ de habitantes} \times \% \text{ de agua}$$

$$Q = 95 \times 6 \text{ h} \times 0.70$$

$$Q = 399 \text{ lt/día.}$$

b) Cálculo del volumen de agua a retener en los estanques.

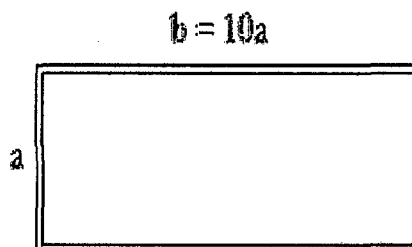
$$V = Q \times \text{TRH}$$

$$V = 399 \text{ lt/sg} \times 8 \text{ días}$$

$$V = 3.18 \text{ m}^3$$

c) Dimensiones del estanque.

En el estudio de León y Lucero (2009) el diseño de los estanques se establece como la relación (Largo: ancho) 10:1 para que el flujo del agua residual cumpliera con la teoría del flujo pistón.



$$V = a \times b \times h$$

$$V = a \times 10a \times 0.4 \text{ m}$$

$$a^2 = V / (10 \times 0.4 \text{ m})$$

$$a^2 = 3.18 \text{ m}^3 / 4 \text{ m}$$

$$a^2 = 0.80 \text{ m}^2$$

$$a = 0.9 \text{ m}$$

$$b = 10a$$

$$b = 9 \text{ m}$$

Según los cálculos realizados para la dimensión del estanque, nuestro sistema pudo haber sido un solo estanque con 0.9 m de ancho, 9 m de largo y 0.4 m de profundidad; pero por motivos de circulación del agua en el sistema y con el propósito de mejorar la calidad de ésta, se decidió realizar tres estanques con medidas de 0.9 m de ancho, 3 m de largo y 0.4 m de profundidad.

➤ Tratamientos.

Para la depuración de las aguas servidas se consideró como tratamientos a los cultivos de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* aplicados de forma independiente en diferentes tiempos. Adicionalmente a éste estudio se agregó un tercer tratamiento que nos sirvió de testigo, el cual consiste en una asociación entre las especies anteriormente descritas.

Cuadro N°02: Tratamientos aplicados en el proceso de depuración de aguas residuales domésticas.

N° Tratamiento	Tratamiento (cultivo)
T1	<i>Eichhornia crassipes</i>
T2	<i>Pistia stratiotes</i>
T3 (TESTIGO)	Asociación de especies: <i>Eichhornia crassipes</i> y <i>Pistia stratiotes</i> .

Fuente: Elaboración propia, 2012.

➤ Manejo de los Tratamientos.

Recolección.- Las plantas de *Eichhornia crassipes* fueron extraídas de las orillas de los cuerpos de aguas lóaticos del Río Mayo y Río Negro, donde se encontraban flotando y eran fáciles de ser extraídas. Mientras que *Pistia stratiotes* es una planta muy pequeña y propia de aguas estancadas, fueron extraídas de cuerpos de agua lénticos, localizados en los alrededores de la ciudad de Rioja y Nueva Cajamarca. Para la recolección de ambas especies se consideró seleccionar aquellas plantas que gozaban de buen estado fisiológico.

Siembra.- Para la presente investigación la semilla de ambas especies consistió en individuos pequeños y algunos hijuelos de plantas grandes. La plantación se realizó de la siguiente manera:

Tratamiento uno (*Eichhornia crassipes*).- Para la siembra se utilizó un total de 144 plantas, los cuales fueron repartidos equitativamente en los tres estanques del sistema, alcanzando una cobertura del 50%.

Tratamiento dos (*Pistia stratiotes*).- Durante la plantación se utilizó una población de 180 plantas, los cuales también fueron ubicados proporcionalmente en los tres estanques del sistema. A diferencia del tratamiento uno, en éste caso se requirió adicionar 36 plantas para el tratamiento, esto debido a que *Pistia* es más pequeño en biomasa comparado con *Eichhornia*.

Tratamiento tres (*Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*).-

En la siembra se utilizó un total de 162 plantas de ambas especies, los cuales se repartieron equitativamente en los tres estanques del sistema.

Manejo y evaluaciones de biomasa.-

Durante el estudio en los dos tratamientos se realizaron varias cosechas, seleccionando especialmente aquellas plantas que se encontraban en estado de

putrificación, con la finalidad de permitir el crecimiento de las plantas en buenas condiciones.

Además de forma periódica se cambiaba de lugar a las plantas, dispersándolas dentro del estanque, evitando de esta manera un estrés en la planta y mejorar su capacidad de adaptación a un medio sobre enriquecido de nutrientes.

Considerando que el objetivo de la investigación es evaluar la eficiencia de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en la depuración de las aguas servidas, se realizó un estudio fisiológico en tres etapas de crecimiento de las especies con el fin de relacionar su acción depuradora respecto a su desarrollo biológico.

Cuadro N°03: Diseño de evaluaciones en biomasa.

ETAPAS DE CRECIMIENTO	ESPECIES		
	<i>Eichhornia crassipes</i>	<i>Pistia stratiotes</i>	Asociación (E y P)
I Etapa	8 días	8 días	8 días
II Etapa	48 días	38 días	38 días
III Etapa	88 días	68 días	-

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Para las respectivas evaluaciones, se aplicó un muestreo aleatorio para poblaciones finitas en ambos tratamientos, de los cuales se obtuvieron 56 plantas de *Eichhornia crassipes* y 60 plantas de *Pistia stratiotes*. En las mencionadas muestras se realizaron evaluaciones de biomasa en tres etapas de desarrollo biológico de la planta; midiéndose las siguientes variables:

- _ Altura.
- _ Peso fresco.
- _ Número de hojas.
- _ Ancho máximo de hoja.
- _ Tamaño de raíz.

- _ Presencia de inflorescencia.
- _ Número de hijuelos.
- _ Tamaño del hijuelo.
- _ Número de hojas del hijuelo.
- _ Tamaño de raíz.
- _ Presencia de inflorescencia en el hijuelo.

➤ **Evaluación de los Tratamientos en la Depuración de las Aguas Servidas.**

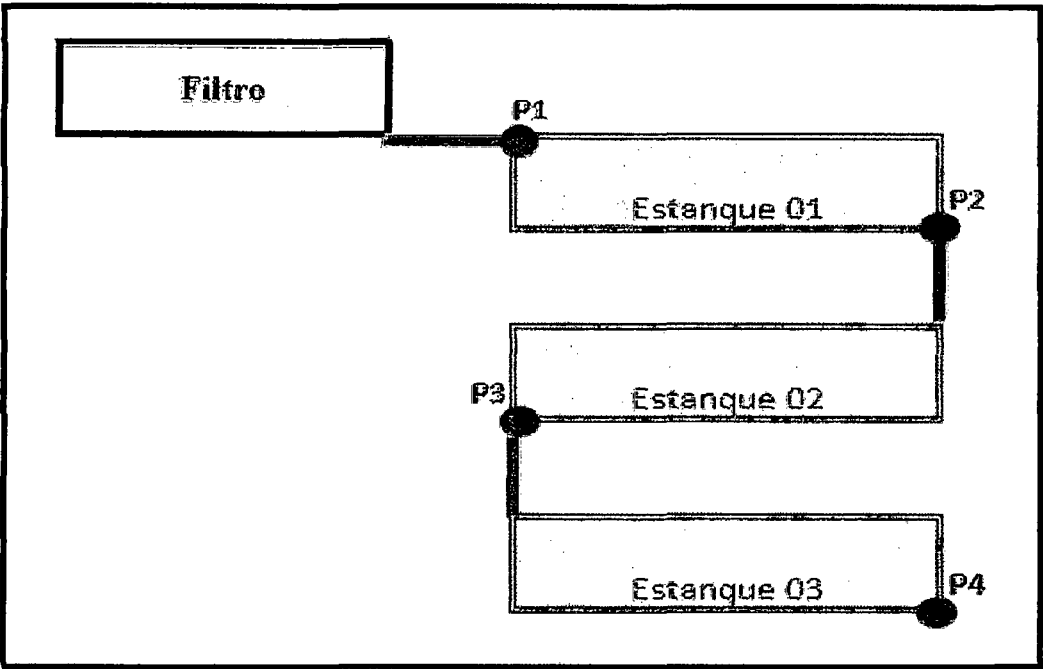
La evaluación de los tratamientos aplicados en la depuración de aguas servidas, se basó en los análisis de laboratorio.

Toma de muestras.

Se estableció un plan de muestreo de las aguas residuales en el sistema, con tres repeticiones y una frecuencia de 40 días entre cada repetición para el tratamiento uno y 30 días para el tratamiento dos, los cuales coinciden con las evaluaciones de biomasa. Los puntos de muestreo al inicio (8 días de TRH) fueron cuatro en todo el sistema, se optó por este número de puntos para evaluar el comportamiento de contaminantes en cada estanque. En las siguientes repeticiones realizadas a 40 y 30 días respectivamente se tomaron muestras en dos puntos en el afluente o ingreso al sistema y en el efluente o punto de descarga del sistema.

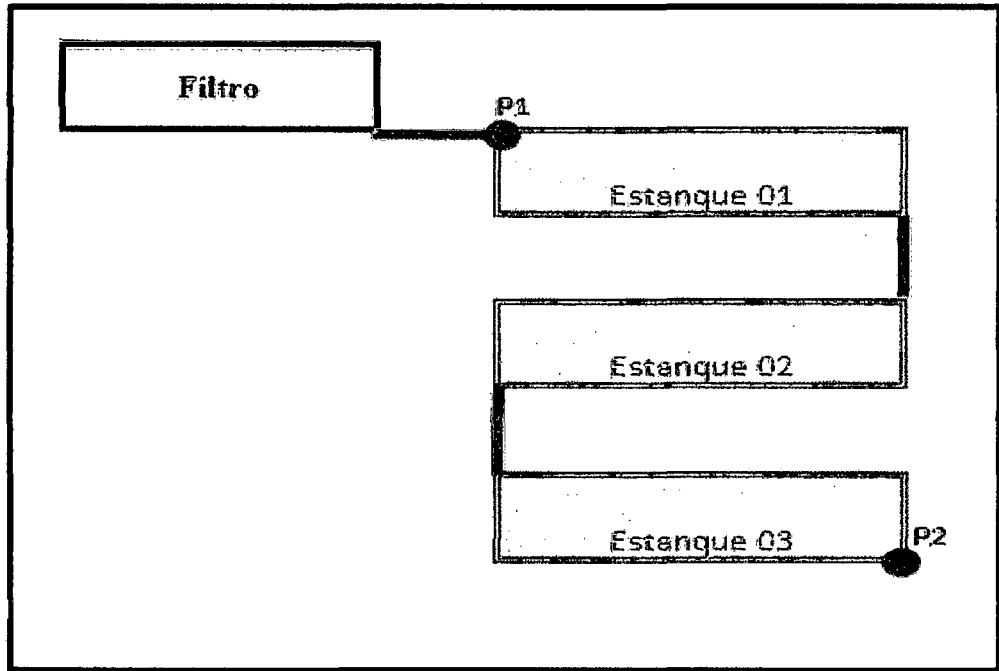
Para el tratamiento tres o testigo, las muestras fueron recolectadas únicamente en dos puntos de muestreo (Afluente y Efluente), con una sola repetición a 38 días del sembrado.

Fig. N°07: Esquema de los cuatro puntos de muestreo a 8 días del TRH, para *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Fig. N°08: Esquema de los dos puntos de muestreo a cada 40 y 30 días de crecimiento para *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Recolección y análisis de muestras.- Se tomaron muestras simples y la cantidad de muestras colectadas fue de 200 ml por punto de muestreo.

En los laboratorios de la Empresa Prestadora de Servicios EPS-Moyobamba se analizaron 12 parámetros: Coliformes totales, Coliformes termotolerantes, pH, Sólidos suspendidos totales, Conductividad eléctrica, Calcio, Cloruros, Sulfatos, Nitratos, Fosfatos, Oxígeno disuelto y DBO_{5,20}.

Métodos de análisis. La metodología empleada en los análisis de agua para cada parámetro establecido en la investigación se especifica a continuación:

Cuadro N°04: Parámetros físico, químicos y biológicos.

N°	PARAMETRO	UNIDAD	METODOLOGÍA
1	Coliformes Totales	NMP/100ml	Filtración por Membrana al Vacío
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100ml	Filtración por Membrana al Vacío
3	pH	Unidad pH	Método de Potenciométrico
4	Conductividad Eléctrica	µS/cm	Método de Conductiométrico
5	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	Método por Espectrofotométrico
6	Calcio	mg/l	Método por Espectrofotométrico
7	Cloruros	mg/l	Método por Espectrofotométrico
8	Sulfatos	mg/l	Método por Espectrofotométrico
9	Nitratos	mg/l	Método por Espectrofotométrico
10	Fosfatos	mg/l	Método por Espectrofotométrico
11	Oxígeno Disuelto	mg/l	Método por Espectrofotométrico de Reflujo Cerrado
12	DBO _{5,20}	mg/l	Método de Electrodo de Membrana

Fuente: Análisis de agua EPS, 2012.

2.4.2 Técnicas de Recolección de Datos Secundaria.

Se recurrió a diversas investigaciones realizadas por diversas instituciones a escala local, regional, nacional e internacional para el análisis metodológico y científico del presente estudio.

Dentro de las técnicas utilizadas tenemos: fuentes internas, generadas por instituciones estatales y privadas; publicaciones de gobierno; libros, revistas, periódicos, información del internet y datos de las organizaciones mundiales vinculadas al tema.

2.5 Técnicas de Procesamiento y Análisis de Datos.

Para el análisis del comportamiento de cada tratamiento en la remoción de los parámetros estudiados en el sistema, se confrontaron las concentraciones de cada contaminante procedente de la descarga del sistema con los valores de los “Límites Máximos Permisibles para Descargas de Efluentes de las Plantas de Tratamiento o Municipales”.

Para demostrar qué, con la aplicación de las especies en estudio si se obtiene agua depurada para uso posterior en el riego de vegetales, las concentraciones de los efluentes del sistema también fueron confrontados con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Categoría 3: Parámetros para riego de vegetales).

CAPÍTULO III

RESULTADOS

3.1 Resultados de la Depuración de las Aguas Residuales:

En el presente capítulo se expone los resultados del diagnóstico del tratamiento de las aguas servidas, procedente de una familia conformada por 06 habitantes que residen en la zona rural.

3.1.1 Evaluación de la Capacidad de Depuración de *Eichhornia Crassipes* en el Tratamiento de Aguas Servidas.

A. Análisis fisiológico de *Eichhornia crassipes*:

En el cuadro 05, se muestran los datos procedentes de las evaluaciones de biomasa de la especie en sus tres etapas de crecimiento.

Cuadro N°05: Datos promedios de evaluaciones fisiológicas de *Eichhornia crassipes*.

Etapas de crecimiento	Altura (cm)	N° De Hojas	Ancho De Hoja (cm)	Tamaño de Raíz (cm)	Peso fresco (gr)	N° Hijuelos
Siembra	17	5	6	20	113	0
8	22	7	6	32	187	2
48	25	9	7	45	252	3
88	29	9	8	55	293	5

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Esta especie fue aplicada como monocultivo en el sistema, donde se determinó que la planta alcanza mayor desarrollo tanto en biomasa aérea y radicular en la tercera etapa de crecimiento.

La especie durante la siembra ingresó con alturas promedio de 17cm, quien experimentó un incremento al final de su desarrolló. También se observa que las raíces a partir de los 8 días de TRH estas ya son frondosas de color negro azulado y rojizo cuando comienzan a crecer. El crecimiento de la raíz en relación a la planta es mayor en sus diferentes etapas de crecimiento

encontrándose hasta un 63% más del sistema radicular, lo que significa que la parte foliar es relativamente el 37% del tamaño de la planta.

Analizando el número de hojas por planta se tiene que al inicio las plantas ingresan al sistema con un promedio de 05 hojas los cuales aumentan hasta 04 unidades en su madures. De igual manera se apreció el ancho de las hojas alcanzaron tamaños promedios que se mantiene casi constantes.

Durante el estudio se evidenció que las hojas de las especies presentes en el estanque 01 mostraban una coloración amarillenta debido a que estaban más expuestas a la radiación solar. En cuanto a los bulbos o peciolos de las plantas se encontró pequeñas perforaciones atribuidas a la presencia de picudos de la familia curculionidae que actúa como biocontrolador.

Eichhornia adquiere mejor peso en la segunda y tercera etapa con promedios de 252 y 293 gr, de la misma forma se observa que cada planta posee un número promedio de 05 hijuelos quienes demuestran excelente adaptación a un ambiente contaminado mejorando los procesos de remoción de contaminantes; las raíces de los hijuelos se desarrollan muy bien acercándose poco apoco al tamaño radicular de la planta madre. A medida que crecen los hijuelos algunos se van separando de la planta madre a través de rizomas que miden generalmente entre 20 a 25 cm de longitud.

➤ ***Eichhornia crassipes* en estanques de agua natural:**

No existe información homogénea sobre el crecimiento de esta especie, por éste motivo, también se decidió instalar un estanque para el crecimiento de *Eichhornia crassipes* bajo condiciones naturales, para luego comparar con las plantas de la misma especie que se encontraban en el sistema con agua contaminada.

Las diferencias encontradas fueron abismales, pues se registró que las plantas que crecían en condiciones naturales alcanzaron alturas promedio de hasta 54 cm, denotándose un crecimiento homogéneo en todo el estanque natural. Con respecto a la raíz estas no se desarrollaron al máximo registrándose promedios hasta 32cm, se cree que el limitado

desarrolló radicular estuvo en función a la disponibilidad de nutrientes en el agua, como se trataba de un estanque libre, éste recibía constantemente aportaciones de nitrógeno proveniente del agua pluvial, además que la lluvia removía constantemente los nutrientes, conllevando a que la planta no tenga necesidad de desarrollar más sus raíces. Los pesos de las plantas también difieren mucho de aquellas que crecieron en el sistema de tratamiento, (Ver anexo 03).

La población se mantuvo casi constante pues en las evaluaciones realizadas en los meses de Enero, Febrero, Marzo y Abril, no se encontraron más de un hijuelo por planta, demostrando que la planta no tuvo mucha capacidad de reproducción.

La presencia de picudos fue persistente, hallándose hojas y bulbos perforados que no producían mucho perjuicio a la planta. También se encontraron cantidades muy significativas de churos, los cuales ovopositaban en las hojas y bulbos de los Jacintos, además estos gasterópodos tenían ubicación focalizada en las raíces, de los cuales se alimentaban.

Lo más resaltante de éste estudio fue que el periodo de evaluación ya había superado más de cuatro meses y la planta aún no culminaba su ciclo de vida, a diferencia de los Jacintos que se encontraban en el sistema de agua contaminada estos al tercer mes ya culminaban su ciclo de vida, seguido por un rebrote nuevo de la planta.

B. Análisis de la acción depuradora de *Eichhornia crassipes*:

A continuación se presentan valores promedios de los análisis físicos, químicos y biológicos en agua residual, procedentes de las muestras, recolectadas en varios puntos del sistema, tomados en las tres etapas de crecimiento. También se presentan porcentajes de remoción para obtener el potencial depurador de la planta.

➤ Cuadro N°06: Datos Promedio de Parámetros Evaluados en la I Etapa.

ANÁLISIS FÍSICO, QUÍMICO Y BIOLÓGICO			AFLUENTE	MEDIO 1	MEDIO 2	EFLUENTE	%REMOCIÓN	LMP	ECA
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD							
1	Coliformes Totales	NMP/100 ml	2230,00	1197,50	825,50	449,50	79,84	--	5000
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	902,50	584,50	431,00	348,00	61,44	10,000	1000
3	pH	Unidad pH	7,90	7,70	7,50	7,40	6,33	6.5-8.5	6.5-8.5
4	Temperatura	°C	23,50	23,50	24,00	24,00	-2,13	<35	--
5	Conductividad Eléctrica	µS/cm	104,50	82,50	66,50	59,00	43,54	--	<2000
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	63,70	48,95	41,50	37,80	40,66	150	--
7	Calcio	mg/l	5,10	4,40	3,50	3,50	31,37	--	200
8	Cloruros	mg/l	19,50	27,50	23,25	13,50	30,77	--	100-700
9	Sulfatos	mg/l	25,00	19,50	17,00	14,75	41,00	--	300
10	Nitratos	mg/l	7,30	5,30	4,25	3,00	58,90	--	10
11	Fosfato	mg/l	9,20	6,00	5,80	5,60	39,13	--	1
12	Oxígeno Disuelto	mg/l	57,50	40,00	34,00	29,50	48,70	--	>=4
13	DBO _{5,20}	mg/l	42,50	29,50	22,00	16,00	62,35	100	40

Fuente: Análisis de agua de la EPS-Moyobamba, 2012.

El cuadro 06, muestra resultados promedios de análisis de agua a 8 días de TRH. Las muestras fueron tomadas en el ingreso al sistema (Afluente), estanque uno o punto medio 1, estanque dos o punto medio 2 y en el efluente o salida del estanque tres, el último punto es comparado con las normas ambientales y se determina su aceptabilidad para descarga al medio ambiente.

También se muestra valores de 13 parámetros establecidos para la evaluación, donde se observa que estos disminuyen conforme van pasando por los estanques, entendiéndose que los dos estanques últimos actúan como biofiltros, contribuyendo a la mejora de la calidad del agua.

Los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales, establece los parámetros y concentraciones de las aguas residuales, los cuales deben estar en conformidad con la presente norma para no producir impactos negativos en el medio ambiente, mas no indica su aplicación, así como tampoco determina sus posibles usos para riego de vegetales. Frente a este inconveniente se determinó comparar las concentraciones del efluente del sistema con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, que sí establece las concentraciones aceptables del agua para diversos usos, permitiéndonos diagnosticar si nuestras aguas residuales tratadas son aptas para uso posterior en el riego de vegetales.

En esta etapa casi todos los contaminantes están por debajo de los límites establecidos por las normas ambientales a excepción de los fosfatos que no logran ser removidos a niveles tolerables.

➤ Cuadro N°07: Datos Promedio de Parámetros Evaluados en la II Etapa.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO			AFLUENTE	EFLUENTE	%REMOCIÓN	LMP	ECA
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD					
1	Coliformes Totales	NMP/100 ml	1798,00	270,50	84,96	--	5000
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	609,50	137,50	77,44	10,000	1000
3	pH	Unidad pH	7,85	7,10	9,55	6,5-8,5	6,5-8,5
4	Temperatura	°C	25,00	24,00	4,00	<35	--
5	Conductividad Eléctrica	µS/cm	125,50	49,10	60,88	--	<2000
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	75,50	24,15	68,01	150	--
7	Calcio	mg/l	5,00	3,25	35,00	--	200
8	Cloruros	mg/l	21,00	14,00	33,33	--	100-700
9	Sulfatos	mg/l	29,25	15,50	47,01	--	300
10	Nitratos	mg/l	7,45	1,05	85,91	--	10
11	Fosfato	mg/l	6,85	2,60	62,04	--	1
12	Oxígeno Disuelto	mg/l	66,00	33,00	50,00	--	>=4
13	DBO _{5,20}	mg/l	38,00	13,00	65,79	100	40

Fuente: Análisis de agua de la EPS-Moyobamba, 2012.

El cuadro 07, muestra los resultados promedios de los análisis de agua recolectadas a 48 días de TRH en el afluente y efluente del sistema. Las concentraciones del efluente se comparan con los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales y Estándares de Calidad Ambiental para Aguas.

De todos los parámetros analizados, los fosfatos logran buenas remociones a la salida del sistema, pero sus valores no consiguen ser aceptadas por las normas ambientales.

➤ Cuadro N°08: Datos Promedio de Parámetros evaluados en la III Etapa.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO			AFLUENTE	EFLUENTE	%REMOCIÓN	LMP	ECA
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD					
1	Coliformes Totales	NMP/100 ml	3050,00	252,00	91,74	--	5000
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	936,50	171,00	81,74	10,000	1000
3	pH	Unidad pH	8,00	7,10	11,25	6,5-8,5	6,5-8,5
4	Temperatura	°C	24,00	22,50	6,25	<35	--
5	Conductividad Eléctrica	µS/cm	129,50	43,00	66,80	--	<2000
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	68,00	19,50	71,32	150	--
7	Calcio	mg/l	4,50	2,75	38,89	--	200
8	Cloruros	mg/l	11,00	6,75	38,64	--	100-700
9	Sulfatos	mg/l	20,30	8,75	56,90	--	300
10	Nitratos	mg/l	7,30	0,85	88,36	--	10
11	Fosfato	mg/l	8,28	2,40	71,01	--	1
12	Oxígeno Disuelto	mg/l	75,00	31,50	58,00	--	>=4
13	DBO _{5,20}	mg/l	42,00	12,50	70,24	100	40

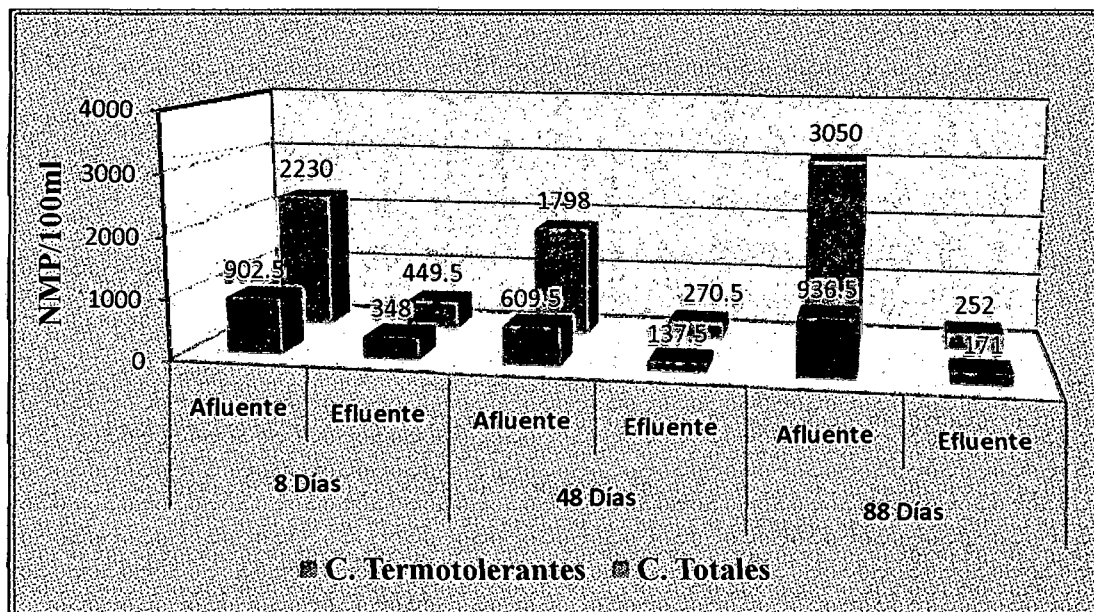
Fuente: Análisis de agua de la EPS-Moyobamba, 2012.

El cuadro 08, muestra valores promedio de los análisis de agua muestreadas a 83 días de la siembra, tiempo donde la planta tiene una mayor capacidad de remoción debido a su biomasa alcanzada. De todos los parámetros evaluados el 69% alcanza niveles de remociones significativos en el punto de descarga.

En esta etapa de evaluación las concentraciones del efluente son comparados con los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales y Estándares de Calidad Ambiental para Agua, resultando como no aceptable el parámetro fosfatos.

- **Análisis de parámetros físico, químicos y biológicos removidos por *Eichhornia crassipes* durante sus tres etapas de crecimiento:**

Gráfica N°01: Datos Promedio de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes:



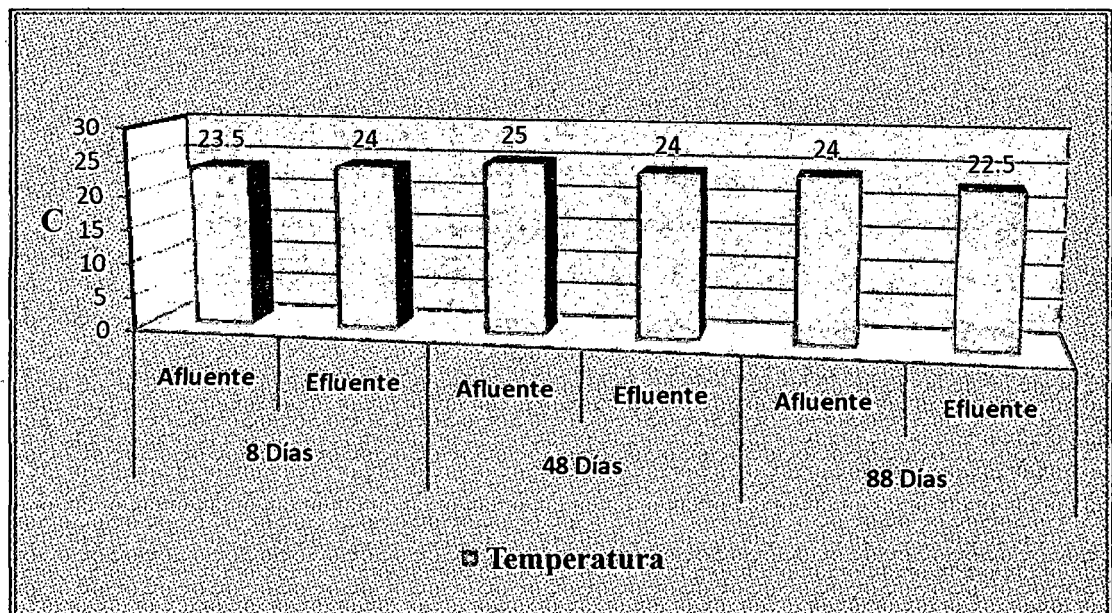
Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la Gráfica 01, se observa que los coliformes totales y los coliformes termotolerantes experimentan una disminución en sus efluentes respecto a sus concentraciones de ingresos. Los coliformes totales tienden a ser removidos en mayor cantidad que los coliformes termotolerantes en el efluente, evidenciándose más la capacidad de eliminación de la planta a 83 días de crecimiento; así tenemos porcentajes de remoción de 91,74 y 81,74% respectivamente para cada uno de ellos.

De la gráfica se tiene que en el punto de descarga, las concentraciones de los coliformes termotolerantes no superan los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales, por lo tanto podemos definirlas como aptas para su descarga.

De acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, los coliformes totales y termotolerantes se encuentran por debajo de los rangos aceptables, haciendo posible su uso para riego de vegetales.

Gráfica N°02: Datos Promedio de Temperatura:



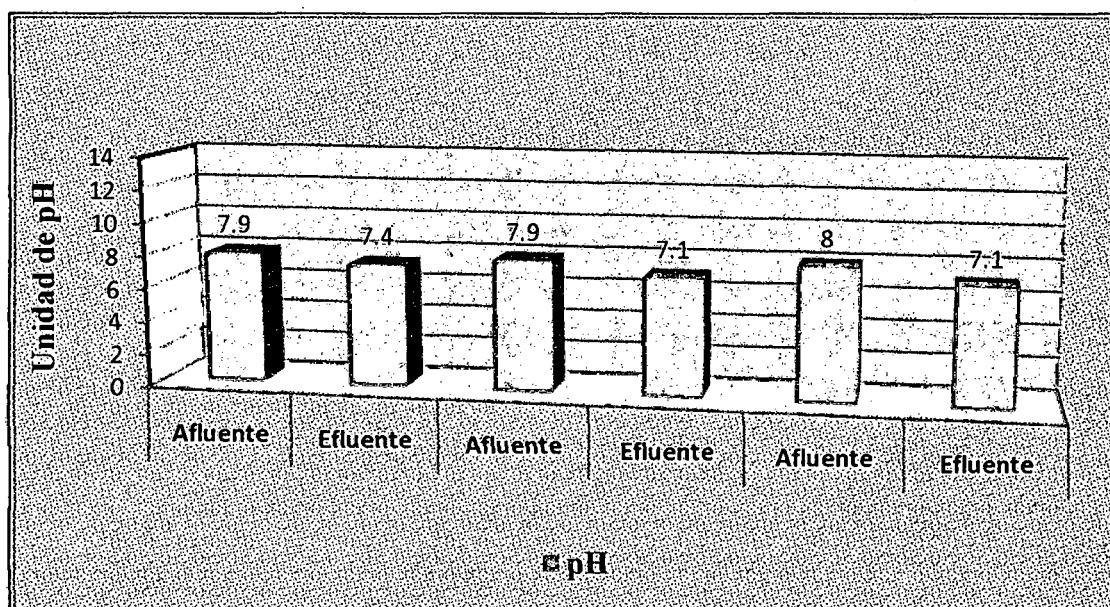
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La Gráfica 02, registra el parámetro temperatura, donde se observa su comportamiento en las tres etapas de crecimiento de la especie.

De acuerdo con la gráfica, se tiene que a 8 días la temperatura experimenta un incremento leve en el punto de descarga; cosa contraria sucede a 43 y 83 días donde éste parámetro disminuye en el efluente. La temperatura crece y decrece conforme *Eichhornia crassipes* va desarrollándose en el sistema.

Los valores de temperatura obtenida en los efluentes en las diferentes etapas evaluadas, se encuentran por debajo del rango establecido por los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipal, haciéndola apta para su descarga al medio ambiente.

Gráfica N°03: Datos Promedio de pH:



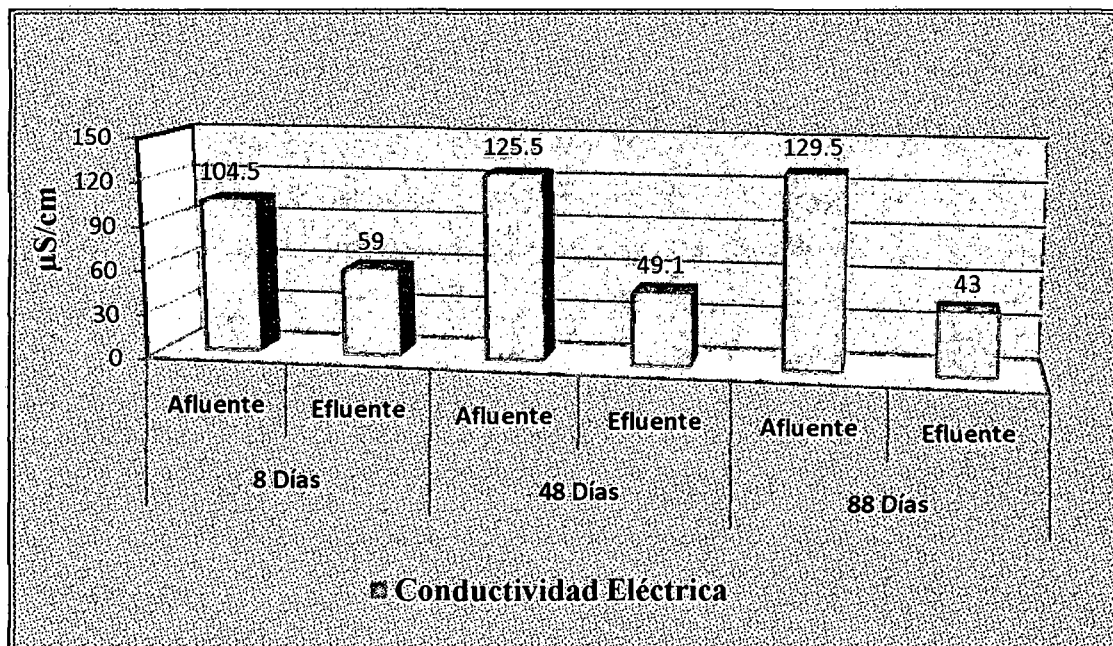
Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la gráfica 03, se aprecia que en las tres etapas estudiadas, los valores de pH en el afluente del sistema casi no varían, contrariamente a esto en los efluentes se observa reducciones hasta 7,4 y 7,1 respectivamente, calificándose como aguas residuales alcalinas.

Miranda (2006), menciona que el pH óptimo de las aguas residuales destinadas a tratamiento biológico debe estar entre 6,5 y 8,5, es decir entre neutra y casi alcalina donde existe la vida biológica. También menciona que aguas residuales con valores de pH menores a 5 y mayores a 9 son difíciles de tratar por procedimientos biológicos.

De los valores de pH registrados en las tres etapas en los efluentes, se tiene que estos se encuentran dentro de los rangos de aceptabilidad (6,5-8,5), establecidos por los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, precisando que estas aguas son idóneas para uso en el riego de vegetales.

Gráfica N°04: Datos Promedio de Conductividad Eléctrica:



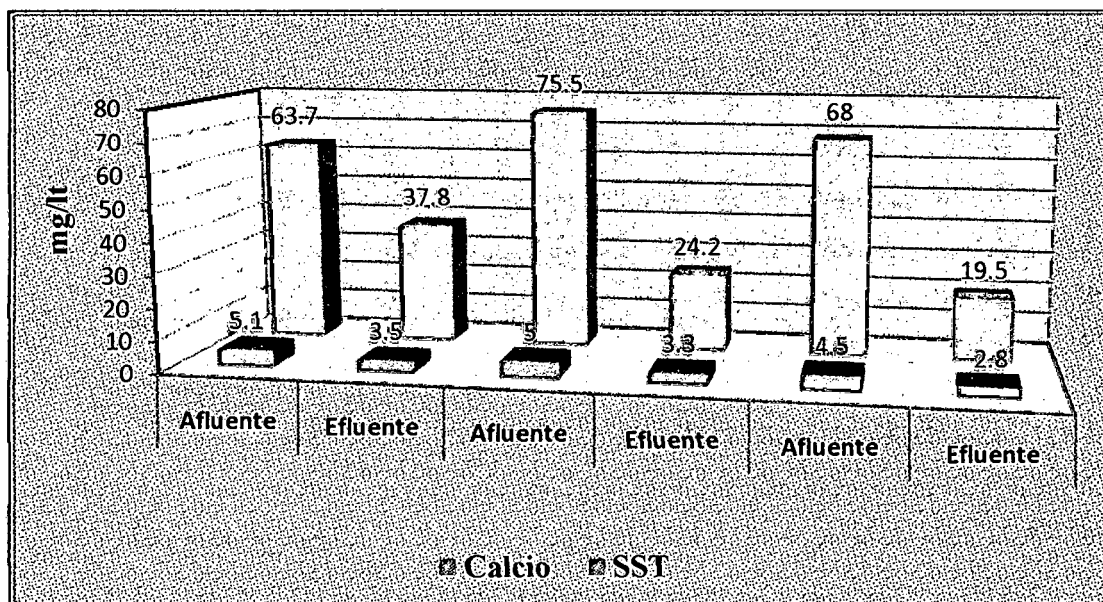
Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la gráfica 04, se registra valores de conductividad, donde se observa que en las tres etapas evaluadas los efluentes tienden a mejorar respecto a su concentración inicial alcanzando remociones mayores hasta 66,80% a 83 días de desarrollo de la planta.

En las aguas residuales los iones responsables de los valores de la conductividad son el calcio, magnesio, potasio, sodio, carbonatos, sulfatos y cloratos.

Los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales, no establece las concentraciones aceptables para éste parámetro, sin embargo los Estándares de Calidad Ambiental para Agua si designan un rango menor a 2000 $\mu\text{S/cm}$, donde las concentraciones en los efluentes del sistema en las tres etapas evaluadas permanecieron por debajo de lo establecido por la norma, otorgándole el grado de muy aceptable para uso en riego de vegetales.

Gráfica N°05: Datos Promedio de Sólidos Suspendedos Totales y Calcio:



Fuente: Elaboración propia, 2012.

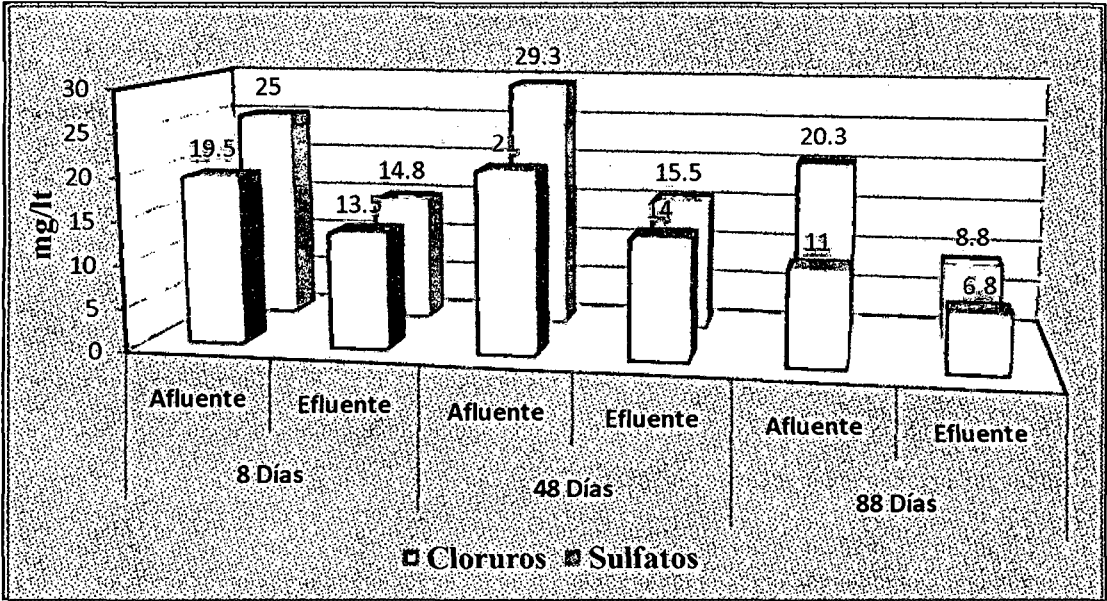
La Gráfica 05, presenta el comportamiento de los sólidos suspendidos totales, el cual ingresa con valores que oscilan entre 63,7 y 75,5mg/l en las tres etapas evaluadas. A 43 días de la evaluación existe un ingreso mayor de 75,5 mg/l, se cree que ésta variación se debe a que la muestra fue colectada en días lluviosos, factor que influyó removiendo el agua y los sólidos suspendidos adheridos en las raíces de las plantas.

En relación a los porcentajes de remoción el máximo alcanzado fue de 71,32% a 83 días de la evaluación. Los valores de los sólidos suspendidos totales en los efluentes del sistema se encuentran por debajo del rango permisible de 150 mg/l establecido por los Límites Máximos Permisibles.

En la gráfica también se presenta las concentraciones de calcio en los afluentes con tendencia a disminuir en el efluente, los porcentajes de remoción para éste contaminante no superan el 40% sin embargo mejoran en las diferentes etapas de crecimiento de la especie.

Las concentraciones de calcio en los efluentes se encuentran muy por debajo de 200 mg/l, según lo establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, siendo muy aceptable para uso en el riego de vegetales.

Gráfica N°06: Datos Promedio de Cloruros y Sulfatos:



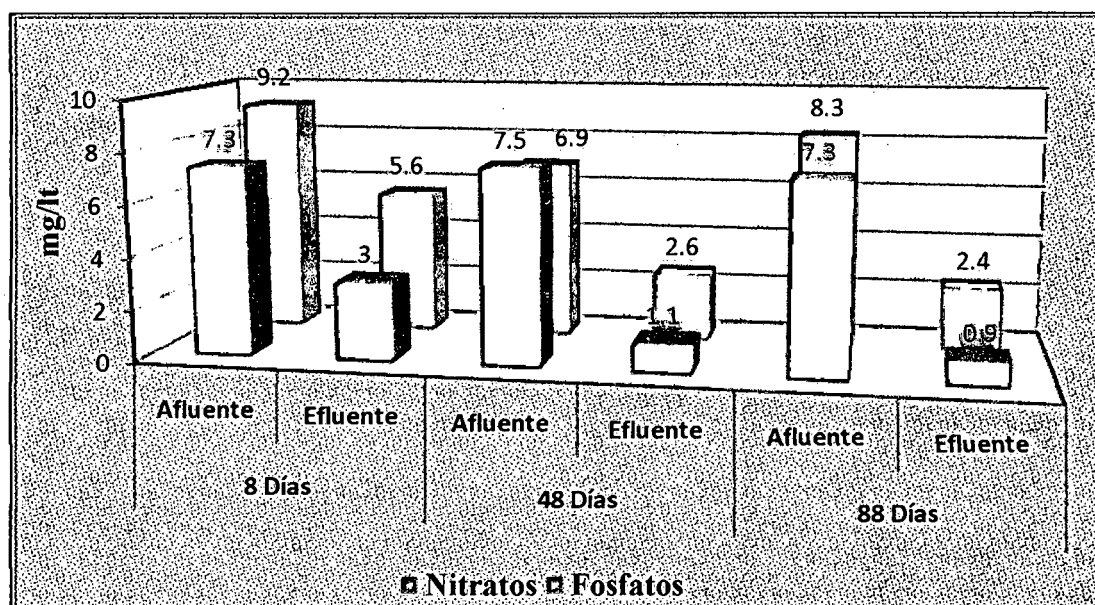
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La gráfica 06, muestra los valores de ingreso de los parámetros cloruros y sulfatos y sus disminuciones respectivas en las descargas o efluentes del sistema en tres etapas evaluadas. Los porcentajes de remoción para el calcio no supera el 40%, sin embargo para los cloruros se tiene mejoras alcanzando 56,9% de remoción a 83 días de crecimiento de *Eichhornia crassipes*.

Los valores altos de cloruros se deben a que su concentración es mayor en aguas residuales ya que el NaCl es muy común en la dieta humana y pasa inalterado a través del sistema digestivo. Un contenido elevado de cloruro puede dañar las conducciones, estructuras metálicas y perjudicar el crecimiento vegetal.

Para ambos parámetros la norma no establece los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales, pero si se cuenta con Estándares de Calidad Ambiental para Agua el cual determina concentraciones de 100 hasta 700 mg/l para los cloruros y 300mg/l para los sulfatos. En relación a los valores presentados en la gráfica los contaminantes en el efluente, se encuentran muy por debajo de los límites establecidos, que definen la buena calidad de estas aguas para el uso agrícola.

Gráfica N°07: Datos Promedio de Nitratos y Fosfatos:



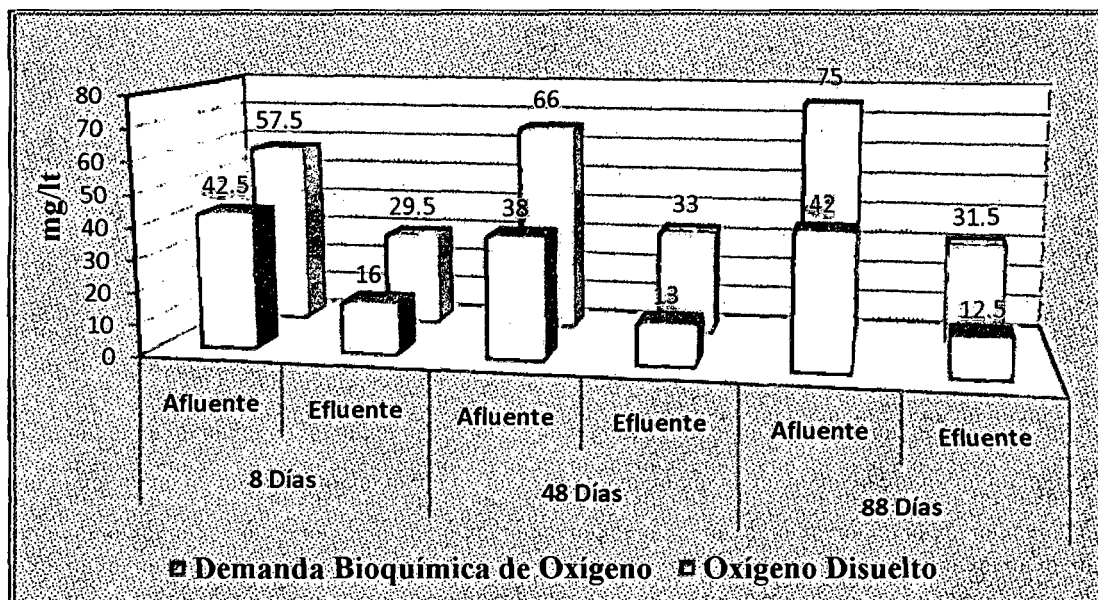
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La gráfica 07, expone las concentraciones de los nitratos y fosfatos en el afluente y efluente del sistema en cada una de las etapas estudiadas. Los nitratos son uno de los elementos que más removi6 la especie durante la investigaci6n, acentu6ndose m6s a 83 d6as de crecimiento alcanzando porcentajes de eliminaci6n de 88,3%.

Los fosfatos tambi6n son uno de los par6metros con mayor remoci6n encontr6ndose hasta 70,01% en la III etapa de evaluaci6n, se atribuye que la capacidad de proliferaci6n de *Eichhornia crassipes* se debe a su capacidad de asimilaci6n de los fosfatos.

Comparando las concentraciones de los efluentes del sistema con los Est6ndares de Calidad Ambiental para Agua, se tiene que los nitratos est6n por debajo del l6mite establecido (10 mg/l); mientras que los fosfatos superan de 2 a 5 veces m6s la concentraci6n permitida de 1mg/l, cabe mencionar que las remociones para los fosfatos van mejorando a medida que la planta crece y satura el estanque.

Gráfica N°08: Datos Promedio de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno:



Fuente: Elaboración propia, 2012.

El cuadro 08, señala que el parámetro oxígeno disuelto y la $DBO_{5,20}$, experimentan sustancialmente disminuciones en el efluente con respecto a sus cargas de entrada al sistema. De esta manera para el oxígeno disuelto y la $DBO_{5,20}$ tenemos mayores porcentajes de remoción a 83 días, alcanzando hasta 58 y 70,24% respectivamente para cada contaminante.

Los límites Máximos Permisibles para efluentes procedentes de las plantas de tratamiento de agua residual no designan valores de aceptabilidad para el oxígeno disuelto, sin embargo si define valores aceptables de la $DBO_{5,20}$ (100mg/l), como se observa en la gráfica éste parámetro es muy inferior a lo consentido.

Los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas, definen que estas aguas son de buena calidad para destinarlas en el riego de vegetales o uso agrícola, ya que las concentraciones para el oxígeno disuelto es mayor o igual a 4 mg/l y la $DBO_{5,20}$ es menor a 40 mg/l en los puntos de descarga del sistema.

Las cantidades de oxígeno disuelto en un agua residual dependen de muchos factores como las condiciones ambientales (presión y temperatura), carga bacteriana y la transferencia de oxígeno atmosférico al cuerpo de agua, el cual es fijado por las plantas acuáticas.

3.1.2 Evaluación de la Capacidad de Depuración de *Pistia stratiotes*, en el Tratamiento de las Aguas Servidas.

En esta sección se presentan los resultados obtenidos del diagnóstico en el tratamiento de aguas servidas utilizando la especie *Pistia stratiotes*:

A. Análisis fisiológico de *Pistia stratiotes*:

A continuación se muestra datos promedios procedentes de las evaluaciones de biomasa realizadas en la muestra.

Cuadro N°09.- Promedios de evaluaciones fisiológicas de *Pistia stratiotes*.

Etapas de crecimiento	Altura (cm)	N° De hojas	Ancho De hoja (cm)	Tamaño de raíz (cm)	Peso fresco (gr)	N° hijuelos
Siembra	6	6	3	18	53	0
8	7	8	3,5	27	72	1
48	9	9	5	34	144	3
88	11	10	6	38	220	4

Fuente: Elaboración propia, 2012.

De las evaluaciones biométricas correspondientes al tamaño se puede deducir que existe un rango de crecimiento que oscila entre 7a 11 cm para las tres etapas de crecimiento. *Pistia* es relativamente pequeña en comparación a *Eichhornia*, el análisis de las raíces expresa un mayor desarrollo, representando el 78% del total de la planta en todas las etapas evaluadas.

El número de hojas encontrado en la planta varía desde 8 a 10 en todo el ciclo de *Pistia*. Al analizar el ancho de hojas se encuentra que estas no son uniformes en toda la planta, pues el ancho se incrementa a medida que las hojas van formando una roseta, para esta variable se determinó que el ancho de hoja es mayor a los 68 días; en este mismo tiempo la planta logró cuadruplicar su peso y se encontró un promedio de 4 hijuelos por planta.

Pistia stratiotes demostró ser muy vulnerable en la estación de verano, apreciándose quemaduras en el borde superior de las hojas por efectos de la radiación solar. Las raíces también fueron blanco de ataque por gasterópodos conocidos como “churos”, mediante observaciones se determinó que estos se alimentaban de las raíces de la planta.

Durante la aplicación de este tratamiento se observó una disminución de la población, el cual se debió al ataque de áfidos presentes en la planta que conllevaron a la mortandad de algunos hijuelos. Plagas específicas de palmeras como, la ahuihua, etapa larval de una lepidóptera mostró agrado alimenticio por la especie estudiada, todos estos factores de alguna manera influyeron negativamente en el desempeño depurador de *Pistia*.

➤ **Comparación de biomasa de *Pistia stratiotes*:**

Para esta especie también se construyó un estanque para investigar su crecimiento en condiciones naturales, ya que se desconocía el tiempo que le tomaba a *Pistia* en crecer.

De las evaluaciones realizadas tenemos, que la altura, número de hojas, ancho de hoja y peso fresco de las plantas son muy similares a aquellas registradas en la aplicación del tratamiento dos. No obstante las raíces sí mostraron un crecimiento menor, pues se tiene registrado tamaños promedios hasta 21.cm, (Ver anexo 04).

A diferencia del tratamiento dos, en condiciones ambientales *Pistia stratiotes* si desarrolló bastantes hijuelos; con respecto al color de hoja de la especie este mostró un tono verde manzana llamativa y brillante a efecto de los pelos presentes en la epidermis de las hojas. También presentó algunas plagas, tales como algunos áfidos que succionaban la sábila de las partes aéreas del repollito, gasterópodos alojados en las raíces y algunos estados larvales de lepidópteras.

B. Análisis de la acción depuradora de *Pistia stratiotes*.

A continuación se muestran valores promedio de los parámetros en estudio, resultado de las evaluaciones realizadas en diferentes puntos del sistema de tratamiento de aguas residuales. Además se presentan sus respectivas remociones en sus diferentes etapas de crecimiento.

➤ Cuadro N°10: Datos Promedios de Parámetros Evaluados en la I Etapa.

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO			AFLUENTE	MEDIO 1	MEDIO 2	EFLUENTE	%REMOCIÓN	LMP	ECA
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD							
1	Coliformes Totales	NMP/100 ml	2140,50	1699,00	1198,50	948,00	55,71	--	5000
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	924,50	687,50	536,00	473,00	48,84	10,000	2000
3	pH	Unidad pH	7,55	7,30	7,20	7,15	5,30	6,5-8,5	6,5-8,5
4	Temperatura	°C	24,00	24,50	25,00	25,00	-4,17	<35	--
5	Conductividad Eléctrica	μS/cm	94,50	72,10	62,00	57,50	39,15	--	<2000
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	59,35	46,50	42,90	40,60	31,59	150	--
7	Calcio	mg/l	4,00	3,45	3,00	3,15	21,25	--	200
8	Cloruros	mg/l	15,50	12,50	11,25	10,50	32,26	--	100-700
9	Sulfatos	mg/l	13,50	10,70	10,10	9,90	26,67	--	300
10	Nitratos	mg/l	3,35	2,60	1,65	1,25	62,69	--	10
11	Fosfato	mg/l	10,40	6,20	4,20	3,70	64,42	--	1
12	Oxígeno Disuelto	mg/l	70,00	52,00	42,00	35,50	49,29	--	>=4
13	DBO _{5,20}	mg/l	40,60	29,50	24,00	16,00	60,59	100	40

Fuente: Análisis de agua de la EPS-Moyobamba, 2012.

El cuadro 10, muestra la concentración de 13 parámetros muestreados a 8 días del TRH, en diferentes puntos del sistema, conformadas por el punto uno o afluente, estanque dos o punto medio1, estanque tres o punto medio 2 y en el efluente; el último punto es comparado con los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental.

En el cuadro se observa que existe Límites Máximos Permisibles sólo para cinco parámetros, los cuales son: Coliformes termotolerantes, pH, Temperatura, Sólidos suspendidos totales y la $DBO_{5,20}$; quienes comparados con la norma estos tienen aceptabilidad para ser descargados al entorno, mas no para uso agrícola. También se comparan con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Categoría 3: Parámetros para riego de vegetales).

Los Fosfatos, Nitratos, $DBO_{5,20}$ y los Coliformes totales fueron los contaminantes que alcanzaron remociones superiores al 50%, a diferencia de éstos la temperatura mostró aumento en todos los estanques ya que en esta etapa el sistema aun poseía una cobertura del 50%. De todos los parámetros removidos, solo los fosfatos no logran niveles tolerables según las normas ambientales.

Según el cuadro 04, se aprecia que la carga contaminante se reduce hasta la mitad en el primer estanque, ya que éste es el primero en recepcionar el caudal de ingreso donde *Pistia* lo retiene y aprovecha para su nutrición; culminado este proceso el agua residual continúa su circulación por los estanques siguientes mejorando su calidad.

➤ **Cuadro N°11: Datos Promedios de Parámetros Evaluados en la II Etapa.**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO			AFLUENTE	EFLUENTE	%REMOCIÓN	LMP	ECA
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD					
1	Coliformes Totales	NMP/100 ml	2340	813	65,26	--	5000
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	995,5	470,5	52,74	10,000	2000
3	pH	Unidad pH	6,65	7,1	-6,77	6,5-8,5	6,5-8,5
4	Temperatura	°C	23,5	23,5	0,00	<35	--
5	Conductividad Eléctrica	µS/cm	79,5	42,75	46,23	--	<2000
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	55,5	32	42,34	150	--
7	Calcio	mg/l	2,5	1,75	30,00	--	200
8	Cloruros	mg/l	20	12,75	36,25	--	100-700
9	Sulfatos	mg/l	8	5,25	34,38	--	300
10	Nitratos	mg/l	4,1	1,5	63,41	--	10
11	Fosfato	mg/l	10,55	3,5	66,82	--	1
12	Oxígeno Disuelto	mg/l	66,5	29,5	55,64	--	>=4
13	DBO _{5,20}	mg/l	36	14	61,11	100	40

Fuente: Análisis de agua de la EPS-Moyobamba, 2012.

En el cuadro 11, se expone valores de 13 parámetros evaluados a 38 días de la siembra, los cuales fueron recolectados en el afluente y efluente del sistema. Además las concentraciones de los contaminantes son confrontadas con los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para Agua, de los cuales la mayoría logra niveles tolerables a excepción de los fosfatos.

Se observa que, los contaminantes con mayor porcentaje de reducción fueron los fosfatos seguidos por los coliformes termotolerantes, los nitratos y la DBO_{5,20}; menos el pH que experimenta un ligero incremento en el punto de descarga.

➤ **Cuadro N°12: Datos Promedios de Parámetros Evaluados en la III Etapa.**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO			AFLUENTE	EFLUENTE	%REMOCIÓN	LMP	ECA
Nº	PARÁMETROS	UNIDAD					
1	Coliformes Totales	NMP/100 ml	1748	567	67,56	--	5000
2	Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	740	319,5	56,82	10,000	2000
3	pH	Unidad pH	7,7	7,4	3,90	6,5-8,5	6,5-8,5
4	Temperatura	°C	24,5	24	2,04	<35	--
5	Conductividad Eléctrica	μS/cm	115	48,5	57,83	--	<2000
6	Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	80	31	61,25	150	--
7	Calcio	mg/l	3,55	2,3	35,21	--	200
8	Cloruros	mg/l	11,1	6,35	42,79	--	100-700
9	Sulfatos	mg/l	8,5	5,15	39,41	--	300
10	Nitratos	mg/l	5,45	1,6	70,64	--	10
11	Fosfato	mg/l	10,05	3	70,15	--	1
12	Oxígeno disuelto	mg/l	63	25,5	59,52	--	>=4
13	DBO _{5,20}	mg/l	39,5	12	69,62	100	40

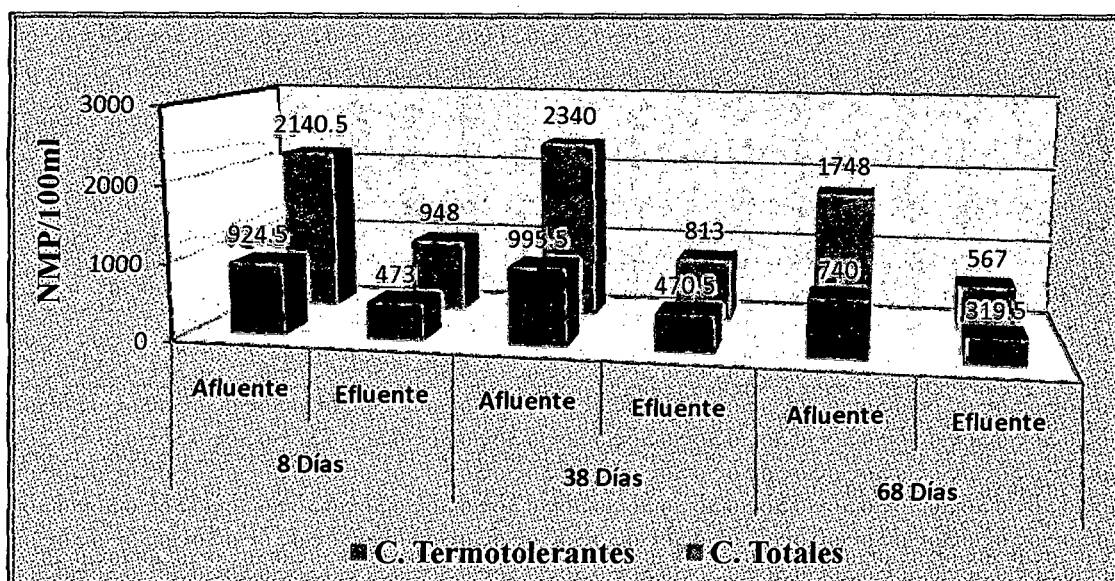
Fuente: Análisis de agua de la EPS-Moyobamba, 2012.

Los datos que se aprecian en el presente cuadro, corresponden a las concentraciones de 13 parámetros, muestreados en el afluente y efluente del sistema a 63 días. Las concentraciones de los efluentes son comparados con los Límites Máximos Permisibles y Estándares de Calidad Ambiental para Agua.

A diferencia de las remociones anteriormente descritas, en esta etapa el repollito tiene mayor porcentaje de eliminación de los parámetros nitratos, fosfatos, DBO_{5,20} y coliformes totales, sin embargo los valores de los fosfatos no son permitidos por las normas ambientales.

- **Análisis de parámetros físicos, químicos y biológicos removidos por *Pistia stratiotes* durante sus tres etapas de crecimiento:**

Gráfica N°09: Datos Promedios de Coliformes Totales y Coliformes Termotolerantes:



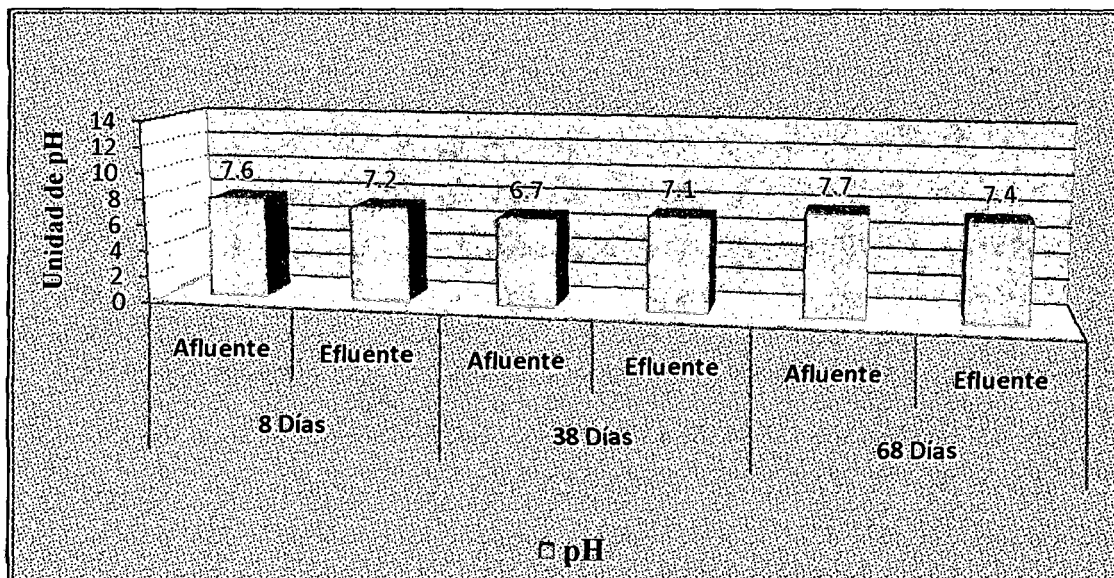
Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la gráfica 09, se aprecia que los coliformes totales y coliformes termotolerantes tienden a disminuir su carga contaminante en el efluente en relación a sus cargas de ingreso. Los porcentajes de remoción para ambos parámetros mejora en cada etapa de desarrollo de la planta, así tenemos porcentajes de remoción de 67,56 y 56,82% para coliformes totales y coliformes termotolerantes a 68 días de la evaluación.

No existe Límites Máximos Permisibles para los coliformes totales, por lo tanto las concentraciones de los efluentes se comparan con los rangos establecidos por los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas, que registra un rango de 5000 NMP/100ml; en base a los resultados obtenidos estos se encuentran por debajo de lo recomendado.

Los valores de los coliformes termotolerantes en el punto de descarga no superan a los rangos autorizados por los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental para agua, quienes registran rangos de 10,000 y 2000 NMP/100ml respectivamente en cada norma.

Gráfica N°10: Datos Promedios de pH:



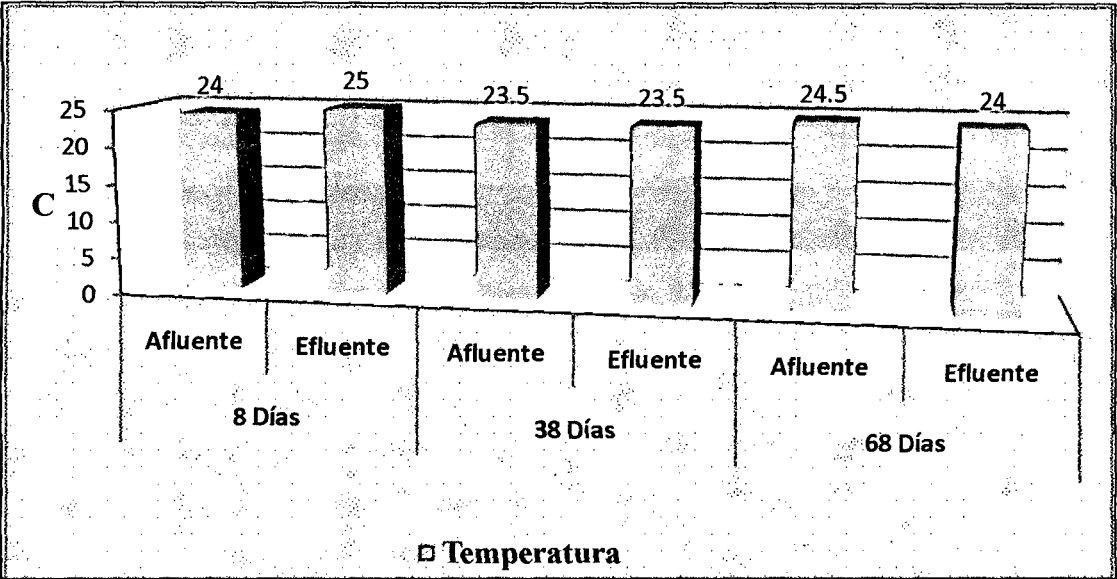
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La Gráfica 10, indica que el pH en el punto de entrada al sistema, ingresa con valores similares en los diferentes días muestreados; presentando remociones débiles hasta 3.90%. También se observa que a 38 días el pH en el efluente manifiesta un ligero incremento de 6.7 hasta 7.1, se cree que esta variación se debe a que en esta etapa la especie se vio afectada por factores biológico como plagas que conllevaron al deterioro y descomposición de las hojas y hijuelos que pudieron haber incrementado el nivel de este parámetro.

Las concentraciones de este parámetro en el efluente del sistema, se ubican dentro del rango autorizado por los Límites Máximos Permisibles y los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, que determinan valores de pH de 6,5 hasta 8,5; calificándolas como seguras para ser descargadas al entorno y uso posterior en la agricultura.

Los elementos inorgánicos comunes en las aguas residuales que influyen en el pH son los cloruros, iones de hidrógeno y los compuestos que causan alcalinidad son el nitrógeno, fósforo y azufre.

Gráfica N°11: Datos Promedios de Temperatura:

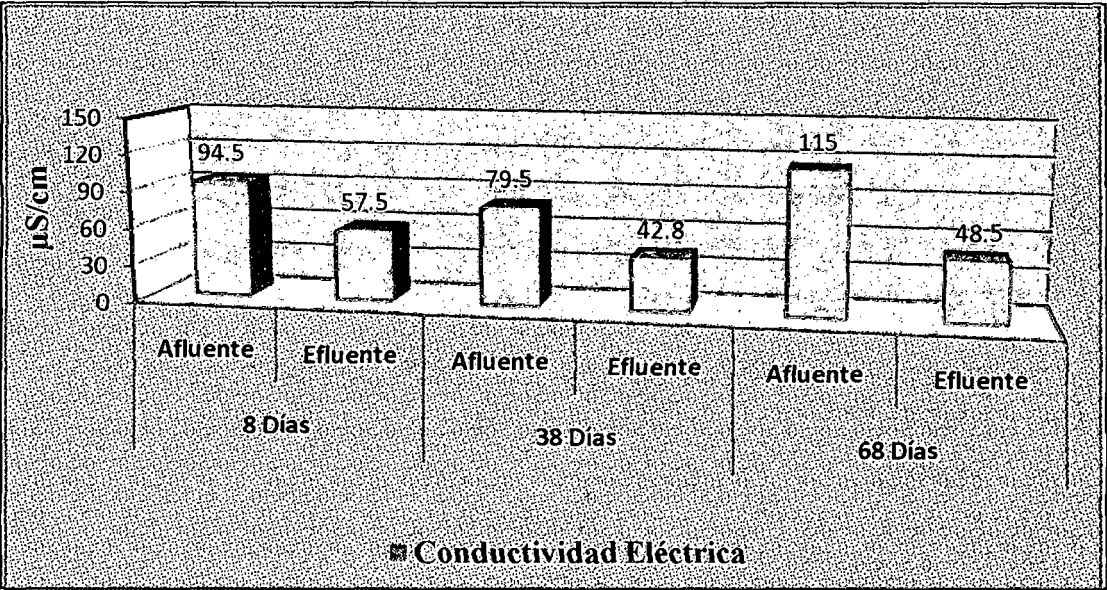


Fuente: Elaboración propia, 2012.

En la Gráfica 11, se expone el parámetro temperatura, el cual experimentó un incremento leve en la I etapa, mientras que en las siguientes fechas éste decrece. Las variaciones de temperatura en las diferentes etapas de crecimiento de la planta varían en base a la cobertura alcanzada por la especie en el sistema.

Las temperaturas alcanzadas en las tres etapas evaluadas se ubican por debajo de los 35°C que establece los Límites Máximos Permisibles, siendo idóneas para su descarga a cualquier cuerpo receptor.

Gráfica N°12: Datos Promedios de Conductividad Eléctrica:



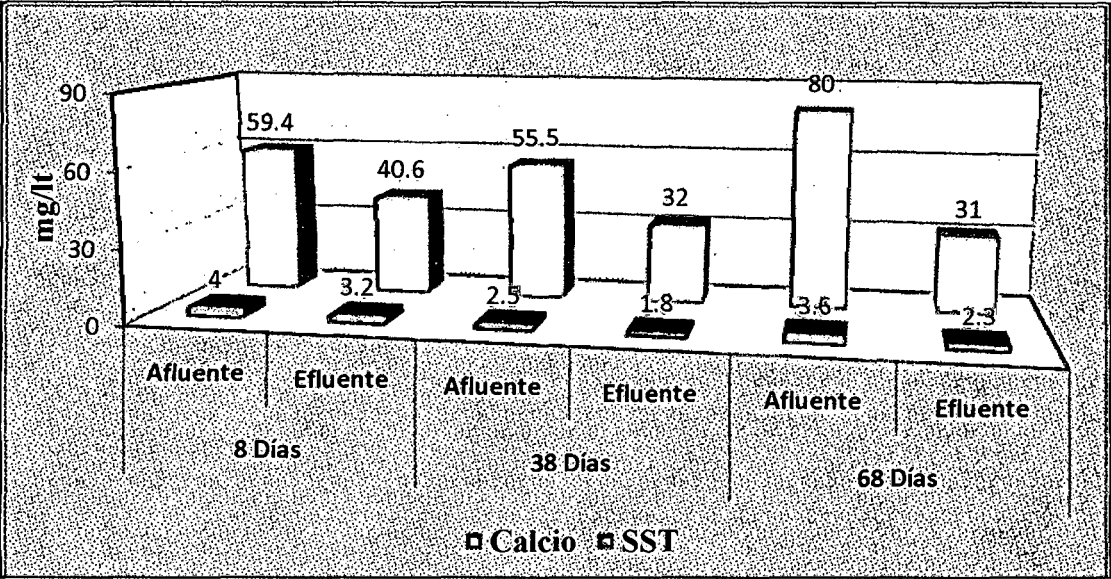
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La Gráfica 12, presenta una comparación de la remoción de la especie sobre el parámetro conductividad eléctrica en cada etapa, donde la especie demuestra que sus porcentajes de eliminación mejoran cuanto mayor es su desarrollo.

Pistia stratiotes es más eficiente en la remoción de la conductividad eléctrica a 68 días, alcanzando eliminaciones significativas de 57,83%.

De acuerdo con la norma ambiental, no existe Límites Máximos Permisibles para éste parámetro, pero si se puede confrontar los valores obtenidos de los efluentes con los Estándares de Calidad Ambiental para Aguas, que determina concentraciones menores a 2000 $\mu\text{S/cm}$; en función a esta restricción los valores de conductividad eléctrica obtenidos están muy por debajo del límite contemplado.

Gráfica N°13: Datos Promedios de Sólidos Suspendedos Totales y Calcio:



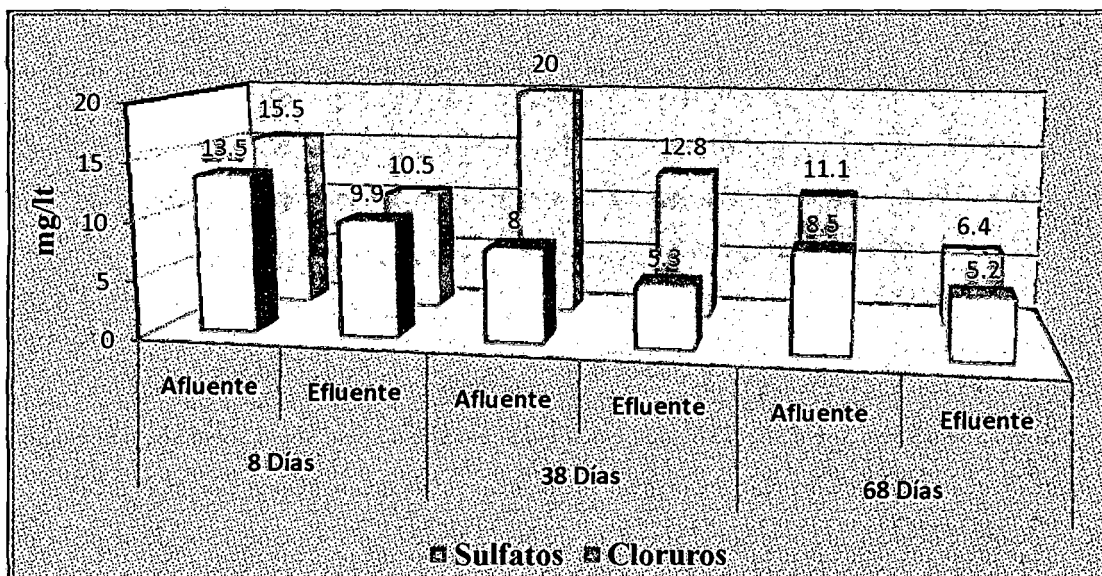
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La gráfica 13, presenta las concentraciones pertenecientes al parámetro sólidos suspendidos totales y calcio, donde se observa que estos tienden a disminuir en el efluente. De esta manera tenemos porcentajes de remoción altos a 68 días de crecimiento de la planta, alcanzando hasta 61,25 % para los sólidos suspendidos totales y 35,21% para el calcio.

Las concentraciones de los sólidos suspendidos totales en los efluentes no superan los Límites Máximos Permisibles que designan 150mg/l como apto para descargarse al entorno; en relación a esta norma no indica los valores aceptables para el parámetro calcio.

De igual forma se observa que los valores del calcio están muy por debajo de los Estándares de Calidad Ambiental para Agua que establece hasta 200mg/l, calificando a las aguas del efluente como aptas para uso en el riego de vegetales.

Gráfica N°14: Datos Promedios de Cloruros y Sulfatos:



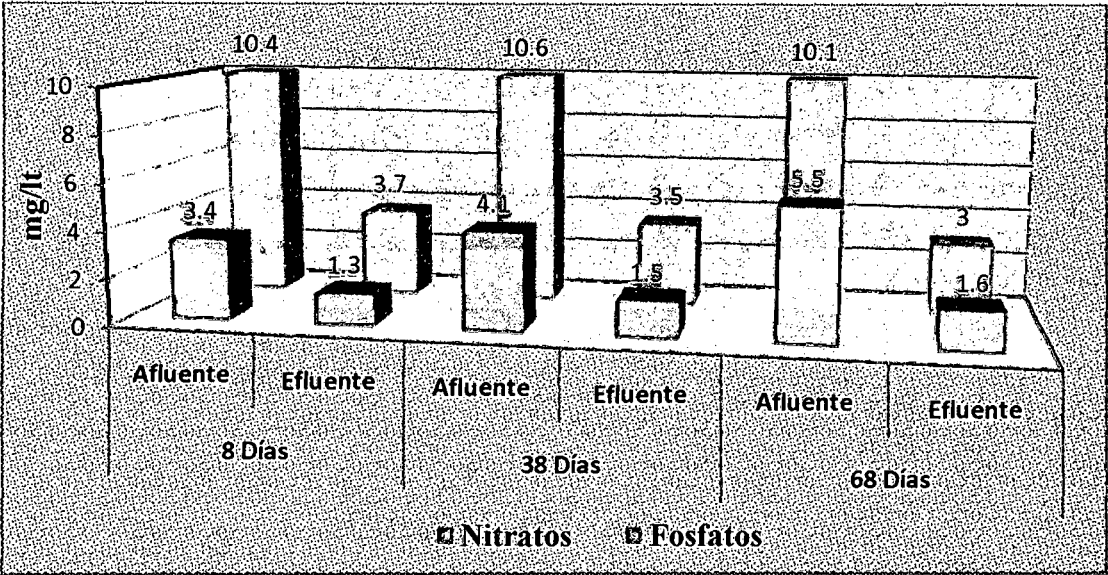
Fuente: Elaboración propia, 2012.

La gráfica 14, muestra el comportamiento de los cloruros y sulfatos con sus respectivas disminuciones en cada etapa evaluada. Los porcentajes de remoción son muy similares obteniéndose 12,79 % para los cloruros y 39,41% para los sulfatos, dichas remociones fueron las más altas realizadas a 68 días.

No existen Límites Máximos Permisibles para ambos contaminantes, pero de acuerdo con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, las concentraciones de los cloruros y sulfatos se hallan por debajo de los rangos permisibles que establece 100-700 mg/l para el parámetro cloruros y 300mg/l para los sulfatos; por lo tanto estas aguas son recomendables para riego de vegetales.

El estudio de los sulfatos en aguas residuales es fundamental porque permite estimar el potencial de olores que se puedan producir, permitiendo determinar un tratamiento apropiado de lodos residuales.

Gráfica N°15: Datos Promedios de Nitratos y Fosfatos.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

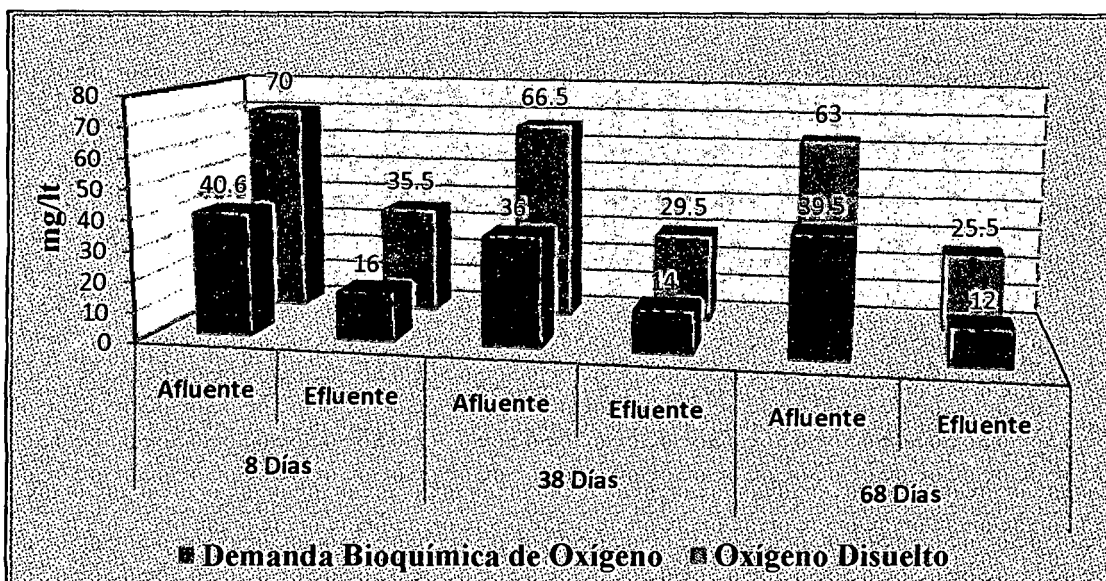
La gráfica 15, muestra claramente como los nitratos y fosfatos son reducidos hasta el punto de descarga. De esta manera tenemos que las máximas remociones se obtuvieron a 68 días, alcanzando porcentajes de eliminación muy similares de 70,64 para los nitratos y 70,15% para los fosfatos.

Cabe mencionar que no existe Límites Máximos Permisibles para ambos contaminantes que nos permita determinar su correcta descarga al medio ambiente, pero si se puede comparar con los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, que establecen valores 10mg/l para los nitratos y mg/l para los fosfatos.

En la gráfica se demuestra que las concentraciones de los efluentes para el parámetro nitratos están por debajo de lo establecido por la norma, sin embargo no sucede lo mismo con los fosfatos, siendo el único parámetro que no logró aceptabilidad.

Según Rodier (2005) citado por León y Lucero (2009), las aguas residuales domiciliarias pueden contener entre 12 mg/l de fósforo.

Gráfica N°16: Datos de Oxígeno Disuelto y Demanda Bioquímica de Oxígeno:



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Del mismo modo que fueron eliminados los anteriores parámetros; el oxígeno disuelto y la DBO_{5,20} también presentan disminuciones de su concentración en el punto de descarga, obteniéndose remociones que oscilan entre 59,52y 69,62% a 68 días, etapa donde la planta adquiere mayor adaptación y logra saturar el estanque.

La presencia del oxígeno disuelto en sistemas de tratamiento de aguas residuales es primordial para la planta ya que, de este depende su mecanismo de depuración, por éste motivo muchos sistemas de tratamiento biológico incorporan ventiladores para airear el agua asegurando la sobrevivencia de la especie.

Los Límites Máximos Permisibles no determina valores de referencia para el oxígeno disuelto; cosa contraria sucede con la DBO_{5,20} donde la norma expresa como límite 100mg/l; de lo expuesto por la gráfica se tiene que los valores de la DBO_{5,20} en los puntos de descarga son tolerables.

Según los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, las concentraciones de oxígeno disuelto y DBO_{5,20} si son válidos, ya que se encuentran por debajo del rango establecido correspondiente a 100 y 40mg/l para cada parámetro correspondiente.

3.1.3 Analizar y Comparar la Capacidad de Depuración de las Especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.

Finalmente se realizó una comparación de la capacidad de remoción en porcentajes de las dos especies propuestas con el objetivo de definir el mejor tratamiento para la depuración de aguas residuales domésticas.

La comparación de remociones de los parámetros en cada tratamiento se presenta resumida en el cuadro 15, el cual presenta porcentajes promedios de remoción de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, obtenidas de sus tres etapas de evaluación. Los valores registrados como ceros son aquellos parámetros que sufrieron incrementos en la columna de agua.

De forma adicional se compara con el tratamiento tres, para analizar su potencial en la aplicación para el tratamiento de aguas servidas.

Cuadro N°13. Porcentajes promedios de remoción de los tres tratamientos.

PARÁMETROS	<i>E. crassipes</i>	<i>P. stratiotes</i>	Asociación
Coliformes Totales	85,5	62,8	54,7
Coliformes Termotolerantes	73,5	52,8	51,7
pH	9,0	0,8	-10,0
Temperatura	2,7	0	2,0
Conductividad Eléctrica	57,1	47,7	55,2
Sólidos Suspendidos Totales	60,0	45,1	56,6
Calcio	35,1	28,8	47,5
Cloruros	34,2	37,1	43,0
Sulfatos	48,3	33,5	53,4
Nitratos	77,7	65,6	77,6
Fosfato	57,4	67,1	56,4
Oxígeno Disuelto	52,2	54,8	20,3
DBO _{5,20}	66,1	63,8	28,0

Fuente: Elaboración propia, 2012.

La especie más representativa en porcentajes de remoción en los parámetros coliformes totales y termotolerantes como se indica en el cuadro 15, logró ser *Eichhornia crassipes* alcanzando 85,5 y 73,5%. Sin embargo *Pistia* también logra remociones superiores al 50% para ambos parámetros consiguiendo al menos disminuir cantidades de parásitos y otra serie de organismos patógenos.

En la remoción de los sólidos suspendidos totales *Eichhornia crassipes* posee mayor remoción hasta 60%. Para el calcio y cloruros las remociones alcanzadas en ambas especies son similares que oscilan entre 28,8 y 37,1%; los sulfatos presentan remociones altas cuando se aplica ambas especies en asociación eliminándolas hasta un 53,4%.

Los nitratos fueron los contaminantes preferidos por ambas especies, alcanzando remociones en el siguiente orden: 77,7% con *Eichhornia*, 77,6 con ambas especies en asociación y 65,6% con *Pistia*. En los fosfatos se observa que, la mayor remoción lo realiza *Pistia* con 67,1%; los fosfatos son responsables de la proliferación de estas especies.

En el cuadro también se muestra porcentajes de remoción muy parecidos en los parámetros de oxígeno disuelto y la DBO_{5,20}, en ambas especies varía de 52,2 hasta 66,1 %; contrariamente a estos resultados con el tratamiento tres se obtiene remociones muy débiles no mayor al 30%.

➤ Elección del Mejor Tratamiento para la Depuración de Aguas Residuales.

Luego de haber realizado un análisis comparativo entre ambas especies, se puede afirmar que *Eichhornia crassipes* es la especie más recomendable para el tratamiento de aguas servidas o domiciliarias, debido a su fácil cosecha y sus remociones altas sobre los contaminantes, además es muy resistente a plagas y factores climáticos extremos, demostrando durante el estudio su fácil adaptación a medios contaminados. Adicionalmente *Eichhornia crassipes* aporta con sus inflorescencias estética al sistema de tratamiento de aguas residuales.

Basado en los resultados obtenidos de la asociación entre el Jacinto y el repollito, estos se pueden utilizar para tratamiento de aguas residuales siempre y cuando se aplique por separado para evitar competencias entre especies y posibles transferencias de plagas.

3.1.4 Obtención de Agua Depurada con Fines para Riego de Vegetales.

Comparando las cargas de los contaminantes presentes en el efluente del sistema con los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento de Aguas Residuales Domésticas o Municipales se concluye que estas aguas se encuentra por debajo de la mencionada norma, designándolas como aptas para su descarga a cualquier cuerpo receptor; sin embargo ésta norma no menciona sus posibles usos, razón por lo cual también se comparó con los Estándares de Calidad Ambiental- Categoría 3 (Riego de vegetales), donde se demuestra que los valores de los parámetros estudiados en el efluente también se encuentran por debajo del límite aceptado.

Bajo estas consideraciones podemos afirmar que las aguas servidas tratadas sí son aptas para uso posterior en el riego de vegetales.

3.1.5 Resultados del Tratamiento tres (Testigo).

El tratamiento tres consistió en una asociación de la especie *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, la mencionada evaluación se realizó con la finalidad de adquirir una mejor perspectiva de la forma cómo actúan ambas especies en interacción.

Esta idea surgió en base a las capacidades de las dos especies para la remoción de diferentes contaminantes ya que *Eichhornia* elimina más parámetros microbiológicos y sólidos suspendidos totales, mientras que *Pistia* tiene mayor afinidad por los nitratos y fosfatos.

A. Análisis fisiológico de asociación.

➤ *Eichhornia crassipes*:

Inicialmente a 8 días de la siembra, se observó que la planta presentaba algunas plagas en su biomasa aérea dentro de ellas se volvió a divisar la presencia de picudos y estados larvales de gorgojos en el interior de los bulbos; sin embargo a pesar de estas dificultades la especie demostró resistencia en todo momento.

En el sistema se observó que *Eichhornia* fue la especie que más se desarrolló, sin embargo comparando esta variable con el tratamiento uno no se registraron mayores pesos, (Ver anexo 05).

A diferencia del tratamiento uno esta especie mostró rizomas de hasta 25 cm a 38 días de la evaluación, la presencia de inflorescencia fue mayor sin contar que muchas de ellas quedaron sumergidas en el agua sin poder florar.

Las raíces también tuvieron bastante desarrollo superando hasta dos veces el tamaño radicular de la otra especie.

➤ ***Pistia stratiotes*:**

El comportamiento de ésta especie durante el tratamiento no fue el esperado, ya que la planta mostró ser muy vulnerable al estar en asociación con *Eichhornia*.

Pistia fue atacada por algunos “áfidos” que inicialmente se encontraban en *Eichhornia*, los síntomas que presentó en toda su morfología fueron: hojas perforadas y comidas, algunas de ellas en descomposición; de igual forma se observó en los hijuelos quienes mostraban estado de pudrición razón por la cual fueron retirados de los estanques.

A diferencia de la otra especie, ésta no se desarrolló al máximo, debiéndose a la competencia por espacio con la otra especie, al parecer la sombra que proyectaba *Eichhornia* afectó en su reproducción y cobertura.

De esta manera en las evaluaciones se recopiló la siguiente información: Con respecto a la altura, la especie no alcanzó tamaños superiores a 7 cm, de igual forma se apreció en las raíces donde el tamaño máximo alcanzado fue de 12 cm, comparándolo con el tratamiento dos este se vio limitado en su crecimiento; en peso tenemos promedios de hasta 45gr (Ver anexo 04).

B. Análisis de la acción depuradora de la asociación (*Pistia stratiotes* y *Eichhornia crassipes*).

➤ **Cuadro N°14.- Datos Promedio de Parámetros Evaluados en la I Y II Etapa de la Asociación.**

ANÁLISIS FÍSICO QUÍMICO Y BIOLÓGICO		I ETAPA			II ETAPA			LMP	ECA
PARÁMETROS	UNIDAD	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN	AFLUENTE	EFLUENTE	% REMOCIÓN		
Coliformes Totales	NMP/100 ml	2026	915	54,8	1787	720	59,7	--	5000
Coliformes Termotolerantes	NMP/100 ml	935	463	50,5	805	378	53,0	10,000	2000
pH	Unidad pH	6,8	7,2	-5,9	6,2	7.1	-14,5	6,5-8,5	6,5-8,5
Temperatura	°C	25	25	0,0	25	24	4,0	<35	--
Conductividad Eléctrica	μS/cm	96	48	50,0	104	41.6	60,0	--	<2000
Sólidos Suspendidos Totales	mg/l	67	27,8	58,5	67	30.4	54,6	150	--
Calcio	mg/l	3	2	33,3	5	2.2	56,0	--	200
Cloruros	mg/l	15,6	9,1	41,7	26	14.6	43,8	--	100-700
Sulfatos	mg/l	15	8	46,7	14	5.5	60,7	--	300
Nitratos	mg/l	4,3	1,2	72,1	10	2	80,0	--	10
Fosfato	mg/l	7,6	3,7	51,3	8	3.1	61,3	--	1
Oxígeno Disuelto	mg/l	43	25	41,9	36	20	44,4	--	>=4
DBO _{5,20}	mg/l	18	12	33,3	13,2	8	39,4	100	40

Fuente: Análisis de agua EPS-Moyobamba, 2012.

En el cuadro N° 14, se presenta los análisis físicos, químicos y biológicos de las aguas residuales, realizados en dos etapas de crecimiento de las plantas a 8 y 38 días. Como se observa la aplicación del testigo estuvo limitado a la recolección de muestras de aguas solo en dos puntos de muestreo por etapa, en el afluente y efluente correspondientemente, esto por razones económicas y presencia de plagas incontrolables.

En el cuadro también se muestran los porcentajes de remoción alcanzadas en sus dos etapas evaluadas. Además se comparan con los Límites Máximos Permisibles para Efluentes de Plantas de Tratamiento o Municipales y Estándares de Calidad Ambiental para Agua (Categoría II: Riego de vegetales).

De los 13 parámetros analizados, uno de ellos supera el límite establecido por los Estándares de Calidad Ambiental para Agua, siendo lo fosfatos que no lograron aceptabilidad.

Durante la aplicación del tratamiento, el parámetro que mayor remoción tuvo fueron los nitratos, donde se tiene que en ambas etapas se removieron de 72 a 80%, demostrando una vez más la incidencia de las plantas sobre este contaminante.

Eichhornia crassipes y *Pistia stratiotes* en asociación tienen mejores remociones para los parámetros calcio, cloruros y sulfatos, en comparación a sus remociones alcanzadas individualmente.

3.2 Discusiones.

3.2.1 Evaluación de la Capacidad de Depuración de *Eichhornia crassipes*, en el Tratamiento de las Aguas Servidas.

➤ Biomasa:

Eichhornia crassipes desarrolló mayor densidad radicular que su biomasa aérea durante su aplicación en el tratamiento de aguas servidas, además se observó que, estas se alargaban a medida que pasaba el tiempo; se cree, que este patrón de crecimiento obedece a la disponibilidad de nutrientes existentes en el agua residual, conllevando a que la planta desarrolle más sus raíces en el intento de conseguir los elementos necesarios para su metabolismo, que se encontraban sedimentados en el fondo de los estanques.

Contrario a nuestra investigación León y Lucero (2009) reportan tamaños promedios de raíz que oscilan entre 5 y 10 cm, observándose que el crecimiento de la raíz en relación a la planta es un 75% menos, lo que significa que el sistema radicular es relativamente pequeño; de igual forma se tiene en la variable altura donde se registran valores que varía entre 30 y 36 cm tomado desde la raíz.

➤ Capacidad Depuradora:

Eichhornia crassipes debe su alta capacidad de eliminación de contaminantes a su densidad radicular, los cuales logran coberturar su medio. La planta posee bulbos muy voluptuosos y esponjosos que le confieren mayor posibilidad de acumular más contaminantes. Según León y Lucero, el Tiempo de Retención Hidráulico aumenta la eficiencia de remoción de los contaminantes.

Eichhornia crassipes, obtuvo altas remociones para los parámetros Coliformes totales y Coliformes termotolerantes, coincidiendo con los resultados obtenidos por León y Lucero. Los mecanismos de depuración de la especie es ayudado por la biomasa de las raíces de las plantas que tiene el

aspecto de una pluma en donde se fijan conjuntamente con los sólidos los coliformes totales y termotolerantes que quedan adheridos, actuando como filtros desde el estanque uno hasta el estanque tres. Los rayos solares también influyen de alguna manera en la mortandad de este tipo de bacterias.

Eichhornia posee alto potencial para la remoción de los Sólidos Suspendidos Totales y DBO_{5,20}, ésta capacidad se debe a que sus raíces son muy largas y densas las cuales proporcionan sitios de adhesión para las colonias bacterianas degradadoras de materia orgánica, y cumplen la función de filtrar el material particulado.

El éxito de la especie para la eliminación de Nitratos en aguas residuales se debe a su afinidad, ya que es uno de los requerimientos nutricionales de la planta. Según la APA (2005), la concentración de nitratos en aguas residuales tratadas puede variar desde 2 a 30 mg/l, dependiendo del grado de nitrificación y desnitrificación del tratamiento. Contrario a nuestra investigación León y Lucero registran remociones muy débiles para éste parámetro.

La planta obtiene del agua todos sus nutrientes que requiere para su metabolismo, siendo el calcio junto a otros los más importantes, de allí su capacidad de asimilarlo con mucha facilidad.

3.2.2 Evaluación de la Capacidad de Depuración de *Pistia stratiotes*, en el Tratamiento de las Aguas Servidas.

➤ Biomasa:

Durante la aplicación de la especie en el tratamiento de aguas servidas, una de las limitaciones que mostró, fue su pequeño tamaño y fragilidad de hojas y raíces, haciéndolo vulnerable a plagas y cambios extremos de temperatura; situación tediosa que implicó que se destinara mucho tiempo para su respectiva poda, cuidados y retiro de algunos insectos que demostraban preferencia por la planta.

Con respecto a su crecimiento se registró mayor desarrollo en su biomasa radicular, esto debido a que la planta no encontraba los nutrientes necesarios en la superficie de la columna de agua.

➤ **Capacidad Depuradora:**

Los factores ambientales jugaron un papel importante en los mecanismos de depuración de esta especie. A pesar de estos inconvenientes *Pistia* si alcanzó remociones significativas para algunos parámetros, esta acción fue potencializada por sus raíces que son mucho más finas, sin embargo su porcentaje de cobertura no es mayor comparado con el desarrollo alcanzado por la otra especie.

De los parámetros analizados se tiene que, *Pistia stratiotes* obtiene mayores remociones para los nitratos. De estos datos se puede corroborar que el aporte de compuestos nitrogenados en las aguas residuales del presente estudio proviene de desechos orgánicos especialmente heces fecales.

Los Fosfatos, son indicadores de procesos de descomposición de compuestos orgánicos y considerados una de las fuentes principales de fósforo para las plantas, por este motivo algunos autores acreditan el crecimiento acelerado de esta planta a la capacidad que ostenta de absorber fósforo en diferentes formas.

Para los parámetros $DBO_{5,20}$ y Coliformes Totales, se obtuvieron buenas remociones, gracias a las raíces finas que posee. Con respecto a los SST en nuestro estudio no obtuvimos remociones mayores al 50%, ya que la especie no posee mayor densidad radicular; no obstante Carranza y Luna (2006), reportan remociones de 72% para la $DBO_{5,20}$ y 63% para los Sólidos Suspendidos Totales.

3.2.3 Comparación de la Capacidad de Depuradora de las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*.

De las especies estudiadas, *Eichhornia crassipes* es más resistente a plagas y a cambios climáticos que *Pistia stratiotes*; esto debido a que la especie presenta

una epidermis más gruesa y rústica que le confiere protección en toda su biomasa; mientras que *Pistia* es más vulnerable al ataque de insectos y posee alta sensibilidad a los rayos solares, presentando quemaduras en los bordes de las rosetas en periodos de exposición solar permanente.

En cuanto a las remociones obtenidas, *Eichhornia crassipes* fue la que obtuvo las más altas remociones para la mayoría de los parámetros estudiados, por ser una especie de fácil adaptación a medios sobreenriquecidos de nutrientes; a diferencia de ésta, los mecanismos de remoción de *Pistia stratiotes* se vieron afectadas por numerosos factores externos.

Durante el tratamiento de las aguas servidas, el parámetro temperatura mantuvo el mismo comportamiento tanto con *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, observándose que en la I etapa, éste parámetro experimento un leve crecimiento, esto se debe a que el cuerpo de agua presentaba espacios vacíos, por donde ingresaba calor procedente de los rayos solares; sin embargo en la II y III etapa de crecimiento de ambas especies la temperatura decrece en el punto de descarga, este hecho se produjo por la sombra que proveen las hojas de la planta sobre la lámina de agua.

3.2.4 Agua para Riego de Vegetales.

Aplicando las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* como depuradoras para aguas servidas domiciliarias, se logró obtener remociones muy significativas para todos los parámetros estudiados, alcanzando niveles aceptables para el 92% de los contaminantes, a excepción de los fosfatos.

A pesar que los fosfatos sobrepasan los Estándares de Calidad Ambiental, se recomienda el uso de estas aguas para riego de vegetales ya que el fósforo sirve para el desarrollo de las raíces de las plantas, activa la floración y es componente de los ácidos nucleicos que intervienen en la formación de las yemas, flores y frutos.

3.3 Conclusiones.

- *Eichhornia crassipes*, fue la especie más eficiente en el tratamiento de aguas residuales domésticas, debido a las altas remociones alcanzadas en la mayoría de los parámetros como, 85,5% para Coliformes Totales, 77,7 % para Nitratos, 73,5% para Coliformes Termotolerantes, 66,1% para la DBO_{5,20}, 60% para Sólidos Suspendidos Totales; además esta especie es de fácil adaptación, habilidad que le permite habitar en distintos medios acuosos, sobre-enriquecidos de nutrientes.
- Factores externos como la temperatura, radiación solar, presencia de plagas, elevadas concentraciones de detergentes afectan los mecanismos de remoción de *Pistia stratiotes*, demostrando vulnerabilidad durante todo el estudio, hecho que no permitió mejor desempeño de la planta; así tenemos remociones del 67,1% de Fosfatos, 65,6% de Nitratos, 63,8% de la DBO_{5,20} y 62,8% de Coliformes Totales.
- Las especies en estudio presentaron diferencias en las remociones de contaminantes debido a las diferentes necesidades en requerimientos nutricionales de cada una de ellas, sin embargo sus porcentajes de remoción mejoraron en cada etapa de crecimiento evidenciándose mejores resultados en la III etapa, logrando la permisibilidad para los 92% de los contaminantes analizados a excepción de los fosfatos.
- El tratamiento adicional conformado por *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en asociación, también lograron eficientes niveles de remoción, reincidiendo más en el parámetro Nitratos (77,6%), la declinación de ésta especie a causa del ataque de plagas transferidas por *Eichhornia crassipes* limitó su acción depuradora.
- Aplicando las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* como tratamiento biológico para las aguas servidas y grises, si se obtiene agua de buena calidad que pueden ser destinadas para riego de vegetales de tallo bajo y tallo alto.

3.4 Recomendaciones.

- Construir un sistema preliminar de rejillas, previo paso al tanque sedimentador, para impedir obstrucciones en esta estructura; implementar trampas de grasa, con la finalidad de evitar formaciones de nata en los estanques.
- En la aplicación permanente de un sistema de tratamiento biológico de aguas residuales domésticas, utilizando *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* u otras especies, éste no debe de contar con una estructura que impida el ingreso de agua pluvial y la radiación solar, ya que estos aportan condiciones para la remoción de contaminantes.
- Determinar métodos de control de enfermedades y plagas asociadas a *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en el sistema de tratamiento biológico de las aguas residuales domésticas y evaluar el impacto ambiental generado por los efluentes de los sistemas biológicos utilizando *Eichhornia crassipes*, *Pistia stratiotes* y otras especies a fines.
- Realizar un análisis foliar a las especies *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes*, con el objetivo de conocer la cantidad y distribución de nutrientes o contaminantes que se bioacumulan en las diferentes partes de las plantas, durante el tratamiento de aguas residual domésticas.
- Evaluar la utilización de la biomasa de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* para la producción de biocombustible.
- Evaluar otras especies de macrófitas para su aplicación como tratamiento terciario, para la remoción de aquellos contaminantes donde *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* no alcanzaron altas remociones.
- Se recomienda realizar estudios adicionales para determinar los factores físicos, químicos y ambientales que puedan influir en el muestreo de aguas residuales, promoviendo su aumento o disminución de las concentraciones de los parámetros evaluados.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, O. 2004. *Estudio de la biodegradación de la materia orgánica en humedales contruidos de flujo subsuperficial*. Revista del Instituto del Medio Ambiente. Barcelona, V. 09, (pág. 30-46).
- Ávila. J.; Castillo, D.; Zarcel, V. (2000). *Jacinto de Agua, Alternativa para el Tratamiento de Agua Dulce en Producción Acuicola*. Tesis de Pregrado, para obtener el Título de Ingeniero Acuicultor. Escuela Superior Politécnica del Uroral. Facultad de Ciencias Marítimas.
- Benítez, I. (2008). *Evaluación de la Distribución de Metales Pesados en las Plantas Acuáticas Jacinto de Agua (Eichhornia crassipes) y Tull (Thypa ssp) Utilizadas en la Planta de Tratamiento de Aguas Residuales La Cerra-Villa Canales por medio de Fluorescencia de Rayos "X"*. Tesis de Posgrado para obtener el Título de Maestro en Ciencia y Tecnología del Medio Ambiente. Facultad de Ingeniería, Universidad de San Carlos de Guatemala, Guatemala.
- Bolaños, S.; Casas, J. y Aguirre, J. (2008). *Análisis Comparativo de la Remoción de un Sustrato Orgánico por las Macrófitas Pistia stratiotes y Egeria densa, en un Sistema Batch*. Revista Gestión y Ambiente. De la Universidad de Antioquia V.11. (pág. 8-10).
- Botero, R. y Gutiérrez, R. (2006). *Caracterización del Sistema de Descontaminación Productiva de Aguas Servidas en la Finca Pecuaría Integrada de la Universidad de EARTH: I Las Plantas Acuáticas*. Revista Tierra Tropical. Limón-Costa Rica: V.2 (2), (pág. 129-140).
- Carranza, V. y Luna, V. (2006). *Tratamiento de Aguas Residuales Municipales Empleando Plantas Acuáticas Flotantes (Pistia stratiotes)*. XII Congreso Nacional de Biotecnología y Bioingeniería. Facultad de Química de la UNAM.

- Cartró, J. (2003). *Tratamiento de Aguas Industriales: Depuración Biológica de las Aguas Residuales*. Barcelona: Editorial Fundación Universitaria Iberoamericana, (pág. 26-28).
- Celis, J.; Junod, J. y Sandoval, M. (2005). *Recientes Aplicaciones de la Depuración de Aguas Residuales con Plantas Acuáticas*. Artículo THEORIA de la Universidad de Bio Bio. Chillan, Chile: V.14 (1), (pág. 7-12).
- Correal, R. (2002). *Tratamiento y Postratamiento de Aguas Residuales*. Guayaquil: Editorial CIPADE, (pág. 179-180).
- Delgadillo, A.; Camacho, A y Pérez, L. (2010). *Depuración de Aguas Residuales por Medio de Humedales Artificiales*. Revista Tecnologías Verdes. Tijuana: V. 21, (pág. 8-12).
- Figueredo, M. (2005). *Implementación y Evaluación de la Eficiencia de una Planta Piloto Sistema de Fitodepuración con Totora Procedentes de Cultivo in Vitro para el Tratamiento de Aguas Residuales*. Revista Boliviana de Investigación. La Paz: V. 3, (pág. 15-21).
- Hernández, I. (1996). *Manual de Depuración Uralita: Sistemas para Depuración de Aguas Residuales en Núcleos de hasta 20.000 Habitantes*. Madrid: Segunda edición. Editorial CRAE, (pág.18-19).
- Jimeno, E. (1998). *Análisis de Agua y Desagües*. Lima: Segunda Edición, Editorial Banco de Libros, (pág. 24-38).
- León, M y Lucero, A. (2009). *Estudio de Eichhornia crassipes, Lemna gibba y Azolla filiculoides en el Tratamiento Biológico de las Aguas Residuales Domésticas en Sistemas Comunitarios y Unifamiliares en el Cantón Cotacachi*. Tesis de Pregrado para optar el título de Ingeniero en Recursos Naturales Renovables. Facultad de Ingeniería en Ciencias Agrarias-Universidad Técnica del Norte, Ibarra.

- Llagas y Guadalupe, (2006). *Diseño de Humedales Artificiales para el Tratamiento de Aguas Residuales en la UNMSM*. Revista del Instituto de Investigaciones FIGMMG. Lima: V.15 (17).
- Lozano, C. (2010). *Distribución Espacial de Eichhornia crassipes “Jacinto de agua” en las Fuentes de Agua Loticas ubicadas en la Margen Derecha del Rio Mayo*. Tesis de Pregrado, para obtener el título de Ingeniero Ambiental. Universidad Nacional de San Martin. Moyobamba-Perú.
- Nimukunda, F y Botero, R. (2006). *Manual Para la Descripción y el Mantenimiento del Sistema de Descontaminación Productiva de las Aguas Residuales Provenientes de las Actividades Pecuarias*. Revista Tierra Tropical C.O. Costa Rica: V.18, (pág. 31-55).
- Pastor, R.; Soplin, J.; Sáenz, C.; Rengifo, D. et al. (2006). *Fitorremediación en el Tratamiento de Aguas Residuales con Metales con Especies del Humedal Natural de Pampa Chica-Iquitos*. Universidad Nacional de la Amazonia Peruana. Iquitos.
- Rodríguez, C. (1997). *Uso de las Plantas Acuáticas en la Depuración de las Aguas Residuales Domésticas*. Tesis Doctoral, para obtener en título de Doctor en Ciencias Ambientales. Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, La Habana-Cuba.
- Rodríguez, N. (2009). *Estudio de un Biosistema Integrado para el Postratamiento de las Aguas Residuales del Café Utilizando Macrófitas Acuáticas*. Tesis Doctoral, para obtener el Título de Doctor en Ingeniería Hidráulica y Medio Ambiente. Universidad Politécnica de Valencia. Valencia-España.
- Rojas, D. (2005). *Diversidad Bacteriana en el Perifiton de Raíces de Eichhornia crassipes sp, Pistia sp, y Azolla sp; en un Humedal Artificial de la Universidad EARTH*. Tesis de Pregrado, para obtener el Título de Ingeniero en Biotecnología. Instituto Tecnológico de Costa Rica, Cartago.

- Romero, J. (2005). *Tratamiento de Aguas Residuales: Teorías y Principios de Diseño*. Bogotá: Editorial Escuela Colombiana de Ingeniería, (pág. 17-19).
- Torres, G.; Navarro, A.; Languasco, J.; Campos, K. y Cuizano, N. (2007). *Estudio Preliminar de la Fitorremediación de Cobre Divalente mediante Pistia Stratiotes*, Revista Latinoamericana de Recursos Naturales. Departamento académico de Química de la Universidad Peruana Cayetano Heredia. Lima: V.3 (1).

ANEXOS

Anexo 01: Materiales y volumen del filtro.

Materiales	Alto de Capa (cm)	Area (m ²)	Volumen (m ³)
Arena Lavada Gruesa	20	1	0.20
Gravilla (1/4 pulg)	20	1	0.20
Grava (01 pulg, asimétrica)	20	1	0.20

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 02: Promedio de consumo diario de agua y disponibilidad en horas días.

Cuadro N°16: Consumo de agua y disponibilidad hr/día				
N° de Familia	N° de Integrantes	Consumo diario (lt)	Disponibilidad de agua (horas/día)	Disponibilidad de Caudal (l/sg)
01	06	570	12	0.0046

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 03: Promedio de evaluaciones de biomasa de *Eichhornia crassipes* en condiciones naturales.

Cuadro 17: Evaluaciones de biomasa de <i>Eichhornia crassipes</i>						
Meses	Altura (cm)	N° De Hojas	Ancho De Hoja (cm)	Tamaño de Raíz (cm)	Peso fresco (gr)	N° Hijuelos
0	17	5	6	14	93	0
1	21	6	7	15	110	1
2	32	7	9	26	192	1
3	57	10	12	32	357	0
4	54	8	12	22	349	1

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 04: Promedio de evaluaciones de biomasa de *Pistia stratiotes* en condiciones naturales.

Cuadro 18: Evaluaciones de biomasa de <i>Pistia stratiotes</i>						
Meses	Altura (cm)	Nº De Hojas	Ancho De Hoja (cm)	Tamaño de Raíz (cm)	Peso fresco (gr)	Nº Hijuelos
0	6	6	3	13	39	0
1	9	9	4	20	87	2
2	11	10	5	20	183	3
3	12	10	6	21	206	5

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 05: Evaluaciones de *Eichhornia crassipes* y *Pistia stratiotes* en asociación (Tratamiento tres).

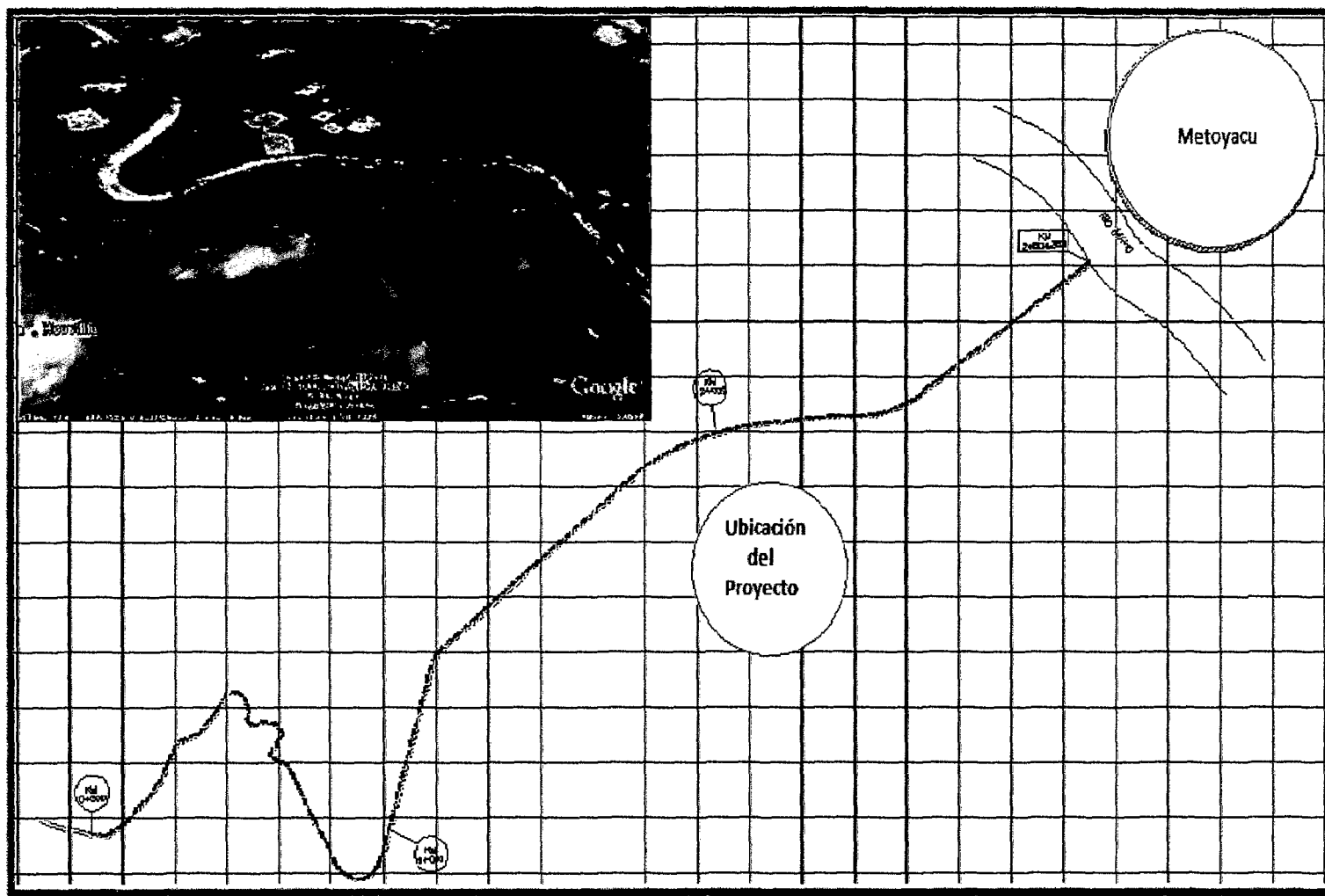
Cuadro Nº19: Promedios de evaluaciones de biomasa en <i>Eichhornia crassipes</i>							
Días de Muestreo	Altura (cm)	Nº De Hojas	Ancho De Hoja (cm)	Tamaño de Raíz (cm)	Peso fresco (gr)	Nº Hijuelos	Nº Flores
Siembra	13	4	5	11	48	0	0
8	18	5	6	18	68	0	0
38	23	7	8	37	108	5	1

Fuente: Elaboración propia, 2012

Cuadro Nº20: Promedios de evaluaciones biomasa en <i>Pistia stratiotes</i>							
Días de Muestreo	Altura (cm)	Nº De Hojas	Ancho De Hoja (cm)	Tamaño de Raíz (cm)	Peso fresco (gr)	Nº Hijuelos	Nº Flores
Siembra	6	6	3	5	28	0	0
8	7	7	5	7	52	0	2
38	7	6	6	12	45	1	3

Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 06: Mapa de ubicación del Proyecto.



Fuente: Elaboración propia, 2012.

Anexo 07: Recolección de especie *Eichhornia crassipes*.



Anexo 08: Recolección de la especies *Pistia stratiotes*.



Anexo 09: Excavación de estanques para el sistema de tratamiento de aguas residuales.



Anexo 010: Recubrimiento de estanques con material plástico.

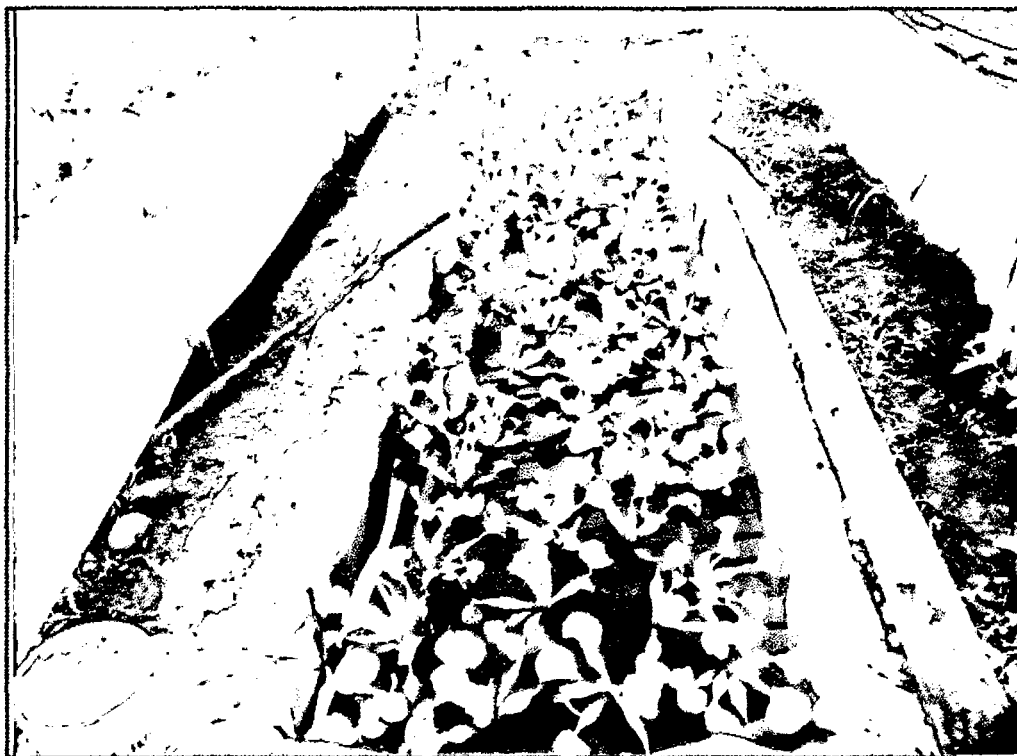




Anexo 011: Limpieza y desinfección de las especies en estudio.



Anexo 012: Siembra de *Eichhornia crassipes*.



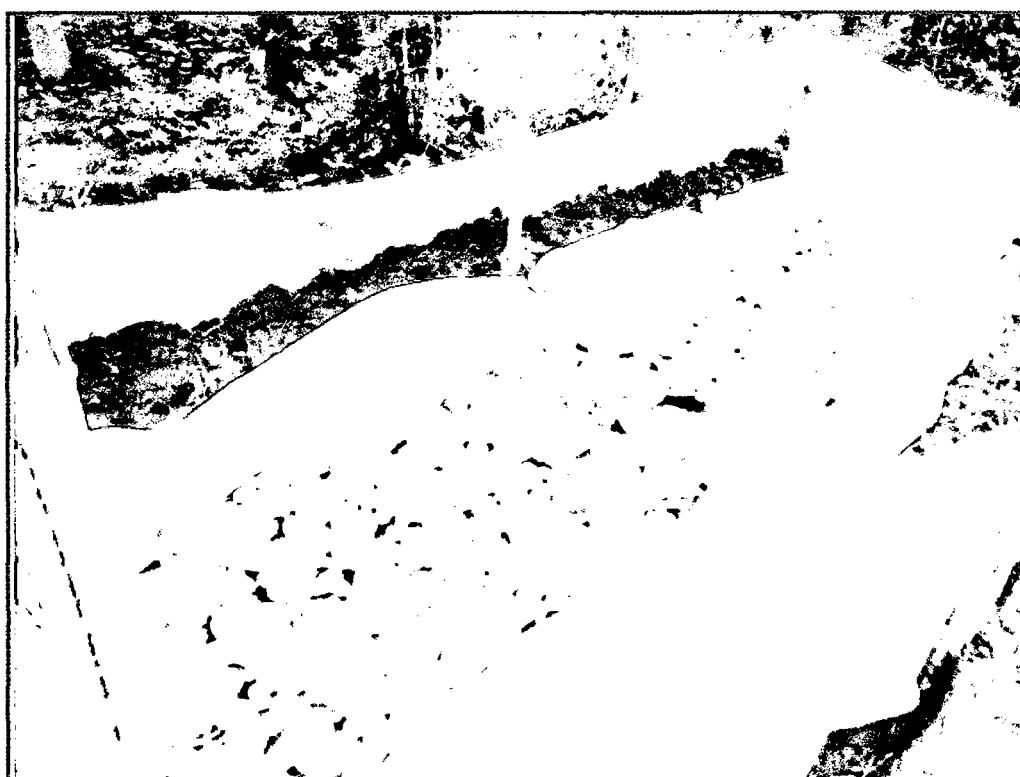
Anexo 013: Evaluaciones de biomasa de *Eichhornia crassipes*.



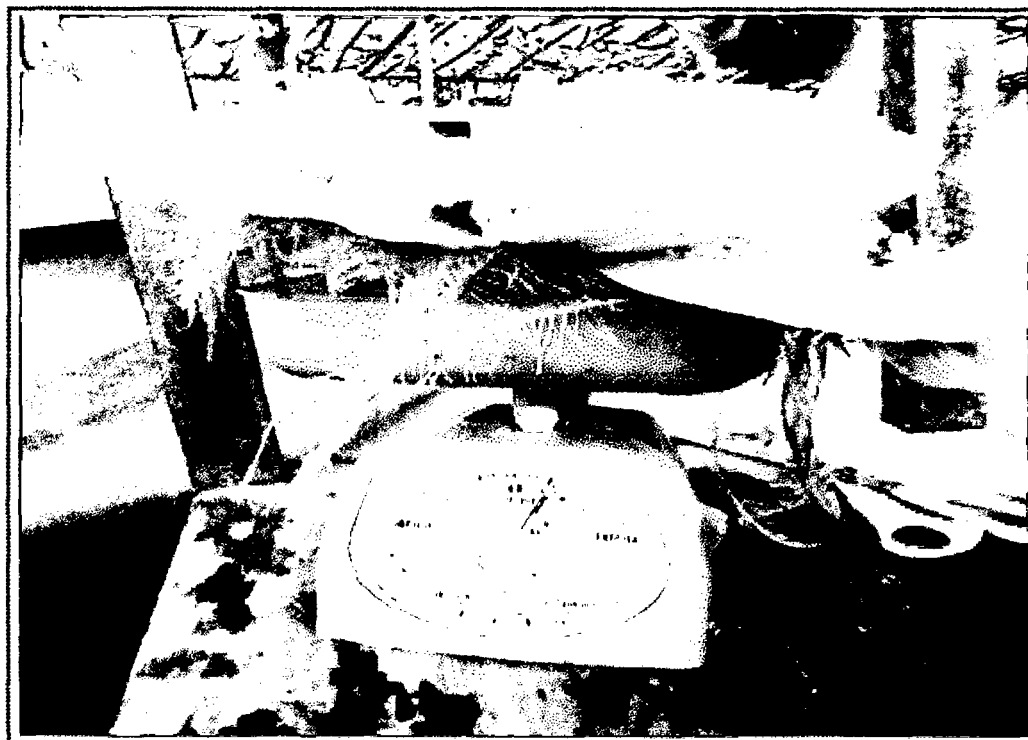
Anexo 014: Mantenimiento de estanques y biomasa de *Eichhornia crassipes*.



Anexo 015: Siembra de *Pistia stratiotes*.



Anexo 016: Evaluaciones de biomasa de *Pistia stratiotes*.



Anexo 017: Evaluaciones de biomasa en estanques naturales.



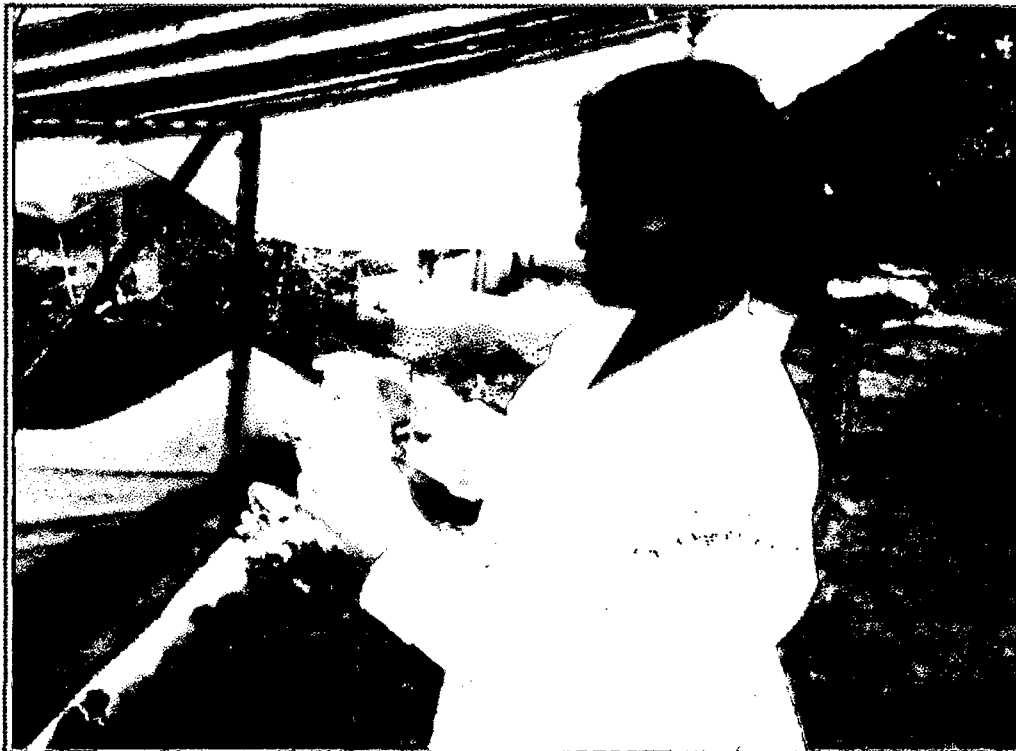
Anexo 018: Estanques naturales de *Eichhornia crassipes*.



Anexo 019: Estanques naturales de *Pistia stratiotes*.



Anexo 020: Recolección de muestras de agua.



Anexo 021: Plagas de Churos presente en *Eichhornia crassipes*

